

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BETON VE BETONARME YAPILARIN YAPI KALİTESİNİN
JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeofizik Mühendisi Emre ÖZÇELİK

**OCAK 2017
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETON VE BETONARME YAPILARIN YAPI KALİTESİNİN
JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

Emre ÖZÇELİK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

" JEOFİZİK YÜKSEK MÜHENDİSİ "

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 / 01 / 2017

Tezin Savunma Tarihi : 27 / 01 / 2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ

Trabzon 2017

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında
Emre ÖZÇELİK Tarafından Hazırlanan

BETON VE BETONARME YAPILARIN YAPI KALİTESİNİN
JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

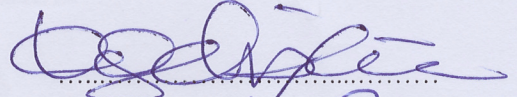
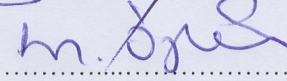
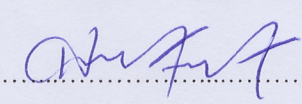
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 10 / 01 / 2017 gün ve 1684 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ

Üye : Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali Erden BABACAN


.....

.....

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Beton ve Betonarme Yapıların Yapı Kalitesinin Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması ” adlı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak yapılmıştır.

Bu tezi hazırlamamda fikir ve düşünceleri ile beni yönlendiren, bilgilerinden yararlandığım, saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ 'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında kullanılan numuneler Mapa İnşaat Yıldızlı Şantiyesi Yapı Denetim Laboratuvarı'nda oluşturulmuştur. Bu hususta benden hiçbir yardımı esirgemeyen Mapa İnşaat Proje Müdür Yardımcısı Sayın Alaeddin AYDOĞDU 'ya çok teşekkür ederim. Ayrıca numunelerin oluşturulma süresince yardımlarından dolayı tüm laboratuvar çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Tez süresince saha çalışmalarında ve tez yazımında bana yardımcı olan Arş. Gör. Sevda GÖREN 'e çok teşekkür ederim. Ayrıca tez süresince yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Ali Erden BABACAN 'a, Arş. Gör. Kaan Hakan ÇOBAN 'a ve Arş. Gör. Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN 'a çok teşekkür ederim.

Desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, daima yanımda olan annem Gülten ÖZÇELİK 'e, babam İsmail Hakkı ÖZÇELİK 'e ve kardeşim Ersin ÖZÇELİK 'e teşekkürü borç bilirim.

Emre ÖZÇELİK
Trabzon 2017

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “BETON VE BETONARME YAPILARIN YAPI KALİTESİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ ‘nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 27/01/2017

Emre ÖZÇELİK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XVII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Yapı Jeofiziği.....	2
1.3. Önceki Çalışmalar.....	4
1.4. Amaç ve Hedefler.....	6
1.5. Kullanılan Yöntemler.....	7
1.5.1. Jeofizik Yöntemler.....	7
1.5.1.1. Yer Radarı Yöntemi.....	7
1.5.1.1.1. Yöntemin Tanımı ve Çalışma Prensipleri.....	7
1.5.1.1.2. Yöntemin Tarihçesi.....	9
1.5.1.1.3. Yer Radarı Yönteminin Kullanıldığı Alanlar.....	10
1.5.1.1.4. Yer Radarı Yöntemi Avantaj ve Dezavantajları.....	11
1.5.1.1.5. Elektromanyetik Dalga Denklemleri.....	11
1.5.1.1.6. Elektromanyetik Dalgaların Yayınımını Etkileyen Fiziksel Özellikler.....	15
1.5.1.1.6.1. Dielektrik Sabiti.....	15
1.5.1.1.6.2. Manyetik Geçirgenlik.....	16
1.5.1.1.6.3. Elektrik İletkenlik.....	16
1.5.1.1.7. Yer Radarı Sinyali Ölçümü.....	20
1.5.1.1.8. Yer Radarı Yöntemini Etkileyen Faktörler.....	21
1.5.1.1.8.1. Merkez Frekansı ve Band Genişliği.....	21

1.5.1.1.8.2.	Zaman Örnekleme Aralığının ve Kayıt Zamanının Belirlenmesi.....	22
1.5.1.1.8.3.	Ölçüm Aralığının ve Antenler Arası Ayrım Aralığının Seçilmesi.....	23
1.5.1.1.8.4.	Yansıma ve İletim Katsayıları.....	23
1.5.1.1.8.5.	Ayrımlılık.....	24
1.5.1.1.8.5.1.	Düşey Ayrımlılık.....	24
1.5.1.1.8.5.2.	Yanal Ayrımlılık.....	25
1.5.1.1.8.6.	Penetrasyon Derinliği.....	26
1.5.1.1.8.7.	Anten ve Profil Ölçüm Aralığının Seçimi.....	27
1.5.1.1.8.7.1.	Antenler.....	27
1.5.1.1.8.7.2.	Anten Seçimi.....	28
1.5.1.1.9.	Veri Toplama.....	29
1.5.1.1.9.1.	Profil Yönünün ve Profil Aralıklarının Seçimi.....	29
1.5.1.1.9.2.	Sabit Anten Profili.....	29
1.5.1.1.9.3.	Ortak Orta Nokta Profili.....	29
1.5.1.1.9.4.	Geniş Açılı Yansıma Profili.....	30
1.5.1.1.9.5.	Anten Dizilimleri.....	30
1.5.1.1.10.	Yer Radarı Verilerinin İşlenmesi.....	31
1.5.1.1.10.1.	Dewow.....	31
1.5.1.1.10.2.	Genlik Kazanç.....	31
1.5.1.1.10.3.	Background Removal.....	32
1.5.1.1.11.	Çalışmada Kullanılan Yer Radarı Alet ve Ekipmanları.....	32
1.5.1.1.11.1.	Çalışmada Kullanılan Yer Radarı Aleti Kısımları.....	32
1.5.1.1.11.2.	Çalışmada Kullanılan Yer Radarı Aleti İle Ölçü Alımı.....	33
1.5.1.1.11.3.	Çalışma Kapsamında Kullanılan Yer Radarı Veri İşlem Yazılımı.....	36
1.5.1.2.	Ultrasonik Yöntem.....	37
1.5.1.2.1.	Yöntemin Tanımı ve Çalışma Prensipleri.....	37
1.5.1.2.2.	Yöntemin Tarihçesi.....	38
1.5.1.2.3.	Ultrasonik Yöntemin Kullanıldığı Alanlar.....	38
1.5.1.2.4.	Yöntemin Avantajları ve Dezavantajları.....	39
1.5.1.2.5.	Dalga Yayınımı.....	39
1.5.1.2.6.	Ultrasonik Yöntem Hız Ölçümü.....	41
1.5.1.2.7.	Ultrasonik Puls Hızını Etkileyen Faktörler.....	43
1.5.1.2.8.	Ultrasonik Yöntem Kırık ve Çatlak İnceleme.....	44

1.5.1.2.9.	Ultrasonik Yöntem ile Beton Dayanımı Tespiti.....	45
1.5.1.2.10.	Çalışmada Kullanılan Ultrasonik Alet ve Ekipmanları.....	47
1.5.1.3.	Elektrik Özdirenç Yöntemi.....	48
1.5.1.3.1.	Yöntemin Tanımı ve Çalışma Prensipleri.....	48
1.5.1.3.2.	Yöntemin Tarihçesi.....	49
1.5.1.3.3.	Elektrik Özdirenç Yönteminin Kullanıldığı Alanlar.....	49
1.5.1.3.4.	Yöntemin Avantaj ve Dezavantajları.....	49
1.5.1.3.5.	Yarı Sonsuz Homojen Bir Ortamda Gerilim ve Özdirenç Bağlılıkları.....	50
1.5.1.3.6.	Elektrod Dizilimleri.....	52
1.5.1.3.7.	Ölçüm Alım Teknikleri.....	53
1.5.1.3.7.1	Profil Ölçüsü.....	53
1.5.1.3.8.	Yapı Jeofizikinde Elektrik Özdirenç Yöntemi.....	54
1.5.1.3.9.	Çalışmada Kullanılan Elektrik Özdirenç Alet ve Ekipmanları.....	56
1.5.2.	Beton Kalitesi Tespitinde Kullanılan Diğer Laboratuvar Test Yöntemleri....	57
1.5.2.1	Tek Eksenli Basınç Deneyi.....	58
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	59
2.1.	Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	59
2.1.1.	Beton.....	59
2.1.1.1.	Agrega.....	61
2.1.1.2.	Çimento.....	61
2.1.1.3.	Karışım Suyu.....	62
2.1.1.4	Katkı Maddesi.....	62
2.1.1.5	Beton Kürü.....	62
2.1.2.	Betonarme.....	63
2.1.2.1.	Donatı.....	64
2.1.2.2.	Paspayı.....	64
2.1.2.3.	Hasır Çelik.....	64
2.1.2.4.	Plastik Boru.....	64
2.2.	Ölçüm Yapılan Yerler ve Ölçüm İçin Kullanılan Modeller.....	65
2.3.	Ultrasonik Yöntem ile Yapılan Ölçümler ve Elde Edilen Veriler.....	73
2.4.	Elektrik Özdirenç Yöntemi ile Yapılan Ölçümler ve Elde Edilen Veriler....	83
2.5.	Yer Radarı Yöntemi ile Yapılan Ölçümler ve Elde Edilen Veriler.....	93
3.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	120

3.1.	Ultrasonik Yöntem ile Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Verilere Ait Bulgular ve Tartışma.....	120
3.2.	Elektrik Özdirenç Yöntemi ile Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Verilere Ait Bulgular ve Tartışma.....	122
3.3.	Yer Radarı Yöntemi ile Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Verilere Ait Bulgular ve Tartışma.....	124
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	128
5.	KAYNAKLAR.....	130
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BETON VE BETONARME YAPILARIN YAPI KALİTESİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

Emre ÖZÇELİK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ
2017, 133 Sayfa

Yapı kalitesinin jeofizik yöntemlerle araştırılması çalışmalarında son yıllarda yapı jeofiziği başlığı altında önemli gelişmeler sağlanmıştır. Günümüzde yer radarı yöntemi, elektrik özdirenç yöntemi ve ultrasonik yöntem yapı jeofiziği araştırmaları kapsamında sıkça kullanılmaktadır.

Çalışmanın amacı; yapı jeofiziği araştırmalarında kullanılan yöntemlerin etkinliklerini araştırmaktır. Bunun için bu çalışma kapsamında hazırlanmış beton ve betonarme numuneler ve mevcut bir yapı üzerinde birçok yüksek frekanslı radar, ultrasonik ve özdirenç ölçüleri alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Alınan ölçülerle yapılarda dayanım, kırık çatlak, korozyon durumu ve donatıların belirlenebilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışmada bir düşey, bir yatay betonarme numune ve ayrıca küp beton numuneleri oluşturulmuştur. Düşey betonarme numunede yer radarı, elektrik özdirenç ve ultrasonik yöntem, yatay betonarme numunede yer radarı ve ultrasonik yöntem, küp beton numunelerinde ise ultrasonik yöntem ve basınç deneyi uygulanmıştır. Oluşturulan numunelerin dışında da mevcut bir kolon üzerinde yer radarı, ultrasonik ve elektrik özdirenç yöntemleri ile ölçümler yapılmıştır. Yer radarı yöntemi ile elde edilen veriler bilgisayar ortamında yazılım ile değerlendirilip donatı tespitleri yapılmıştır. Elektrik özdirenç yöntemi ile elde edilen veriler ile yapıların korozyon durumu hakkında yorumlar yapılmıştır. Ultrasonik yöntem ile elde edilen verilerle beton kalitesi, dayanımı ve kırık tespiti yapılmış ayrıca beton basınç deneyi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda yapıya herhangi bir zarar vermeden, hızlı ve ucuz bir şekilde jeofizik ölçülerle donatının belirlenebileceği, beton kalitesinin, kırık çatlak durumunun ortaya konulabileceği ve betondaki korozyonun tespit edilebileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapı jeofiziği, Yer radarı, Elektrik özdirenç, Ultrasonik, Korozyon, Donatı, Beton kalitesi ve dayanımı

Master Thesis

SUMMARY

**INVESTIGATION OF STRUCTURE QUALITY USING GEOPHYSICAL METHODS
ON CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**

Emre ÖZÇELİK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geophysics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ
2017, 133 Pages

Researchers which has worked about determination of structure quality using geophysical methods are painted a positive picture of big improvements. Nowadays ground penetrating radar (GPR), electrical resistivity and ultrasonic method have often been used at structure geophysics research.

Aim of thesis is to investigate effect of geophysical methods which have been used in structure research. Evaluation of taken measurements by high frequency GPR, ultrasonic and resistivity tools on reinforced concrete samples, concrete which was especially prepared and existing structure was done. Estimation of concrete strength from pulse velocity measurement, degree of corrosion estimated from electrical resistivity measurements, numbers and depths of reinforcement, from GPR profiles on different samples of structure were discussed in this study.

Vertical and horizontal reinforced concrete samples and cubic concrete samples were designed in this work. GPR, resistivity and ultrasonic measurements were taken on vertical concrete sample. GPR and ultrasonic measurements were taken on horizontal concrete sample. Ultrasonic and compression tests were done on cubic samples. Furthermore, GPR, ultrasonic and resistivity methods were applied on existing concrete column. Data found by gpr method were evaluated by software and steel bars were determined. According to data collected by electrical resistivity method, corrosion degree of structures were identified. Concrete quality found by ultrasonic measurements and detection of fractures were done and compared with compression test results. In this study, it is understood that determination of steel bars and pvc pipes, concrete quality, detection of fractures and degree of corrosion in construction by using geophysical methods can be determined fast, cheap and non-destructive.

Key Words: Geophysical methods in structure, Ground penetrating radar, Electrical resistivity, Ultrasonic, Corrosion, Steel bar, Concrete quality and strength

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Yer radarı yönteminin çalışma prensibi (Knödel ve diğ., 1997).....	8
Şekil 2. 2B yer radarı kesiti (Radargram örneği).....	8
Şekil 3. Birbirine dik hareket eden elektrik alan ve manyetik alanın homojen ortamdaki yayılımı (Annan, 2001).....	12
Şekil 4. Maxwell denklemlerinin fiziksel ifadelerinin şematik gösterimi.....	13
Şekil 5. Elektrik alan uygulandığında serbest elektrik yüklerinin hareketi (Annan, 2001)..	17
Şekil 6. Uygulanan elektrik alan doğrultusunda bağlı elektrik yüklerinin yer değiştirme hareketi (Annan, 2001).....	18
Şekil 7. İletim, yer değiştirme ve toplam akımın frekansla değişimi (Annan, 2001)..	19
Şekil 8. Yer radarı sisteminin ana bileşenlerinin blok diyagram şeklinde gösterimi (Annan, 1992).....	21
Şekil 9. Frekans, ayrırlılık ve derinlik arasındaki ilişki (Last ve Smol, 2001).....	22
Şekil 10. Düşey ayrırlılık (Wilchek, 2000).....	24
Şekil 11. Fresnel zonu (Wilchek, 2000).....	25
Şekil 12. Yanal ayrırlılık (Wilchek, 2000).....	25
Şekil 13. Anten tipleri a) Açık anten b) Kapalı anten.....	28
Şekil 14. Sabit anten profili.....	29
Şekil 15. Ortak orta nokta profili.....	30
Şekil 16. Geniş açı yansıma profili.....	30
Şekil 17. Anten dizilimleri.....	30
Şekil 18. StructureScan Mini XT yandan görünüş (StructureScan Mini XT Manuel)..	32
Şekil 19. StructureScan Mini XT arkadan görünüş (StructureScan Mini XT Manuel).	33
Şekil 20. Menüleri a) ana menü b) ScanMax veri toplama parametreleri giriş menüsü (StructureScan Mini XT Manuel).....	34

Şekil 21.	2B’lu ölçüm yapılması.....	34
Şekil 22.	2B ölçüm anında aletin ekran görüntüsü (StructureScan Mini XT, 2016)....	35
Şekil 23.	Ölçü alımı a) 60x60cm grid b) 30x30 cm grid.....	36
Şekil 24.	Radan yazılımı 3 boyutlu görüntü (RADAN7 for StructureScan Mini).....	37
Şekil 25.	Dalgaların partikül hareketleri ve dalga yayınımları (Mix, 2005).....	40
Şekil 26.	Lamb dalgaları partikül hareketi (Mix, 2005).....	40
Şekil 27.	Titreşim hızı test devresinin şematik diyagramı (Tarun ve diğ., 2004).....	41
Şekil 28.	Yapıda kullanılan sismik ultrasonik ölçüm teknikleri.....	42
Şekil 29.	Kırık tespiti için yapılan ultrasonik ölçüm düzeni (Keçeli, 2012).....	44
Şekil 30.	Kırıklı beton zaman-uzaklık grafiği (Keçeli, 2012).....	44
Şekil 31.	Kırık tespiti için yapılan ultrasonik ölçüm (Keçeli, 2012).....	45
Şekil 32.	Eğik kırıklı beton zaman-uzaklık grafiği (Keçeli, 2012).....	45
Şekil 33.	Pundit Plus Model PC1006 Ultrasonik Test Cihazı.....	47
Şekil 34.	Arazide ölçü sistemi. A ve B akım elektrodları, M ve N gerilim elektrodları (Van Nostran ve Cook, 1966).....	48
Şekil 35.	Elektrod dizilimlerinin genel gösterimi.....	51
Şekil 36.	Kullanılan başlıca elektrod dizilimleri (Burada n=1,2,...dir.)	53
Şekil 37.	Elektrik özdirenç ölçümü profil hatları.....	54
Şekil 38.	Wenner elektrod dizilimi.....	55
Şekil 39.	Özdirenç aleti ve düzeneği a=50mm (Resipod Operating Instructions).....	56
Şekil 40.	Alet kontrol ekipmanı (Resipod Operating Instructions).....	57
Şekil 41.	Ölçüm noktaları a) Problar donatıların arasında ölçüm b) Problar donatılara dik şekilde ölçüm (Resipod Operating Instructions).....	57
Şekil 42.	Basınç deneyi test cihazı.....	58
Şekil 43.	Bu çalışma kapsamında kullanılan agregalar.....	61
Şekil 44.	Bu çalışma kapsamında oluşturulan beton numuneleri.....	62

Şekil 45.	Kolon, boyuna donatı, etriye, hasır, paspayı örnekleri.....	63
Şekil 46.	Bu çalışma kapsamında oluşturulan betonarme yapılar.....	63
Şekil 47.	Model 1 kolon kesitleri (a) A kesiti (b) B kesiti (c) C kesiti.....	65
Şekil 48.	Model 1 üzerinde kolon profil hatları a) A kesiti b) B kesiti c) C kesiti.....	66
Şekil 49.	Model 2 kolon kalıp ve donatıları.....	67
Şekil 50.	Model 2 kolon boyutları.....	67
Şekil 51.	Model 2 kolon kalıbı kesitleri a) AB kesiti b) CD kesiti c) AC kesiti d)BD kesiti.....	68
Şekil 52.	Model 2 ABCD kesiti.....	69
Şekil 53.	Model 3 kalıbı ve donatıları.....	70
Şekil 54.	Model 3 kalıp kesit ve boyutları.....	70
Şekil 55.	Model 3 AB kesiti.....	71
Şekil 56.	Model 3 çelik hasır ölçüleri.....	71
Şekil 57.	Tavanda ölçüm alınan bölge.....	72
Şekil 58.	Küp numune kalıbı ve numune örnekleri.....	72
Şekil 59.	Ultrasonik ölçü alımı.....	73
Şekil 60.	Model 1 ultrasonik hız haritası.....	74
Şekil 61.	Model 1 sıva düzeltmesi yapılmış ultrasonik hız haritası.....	75
Şekil 62.	Model 2 ultrasonik hız ölçümü.....	77
Şekil 63.	Model 2 ultrasonik hız ölçüm noktaları.....	77
Şekil 64.	Model 2 ultrasonik hız haritası.....	78
Şekil 65.	Model 3 ultrasonik kırık-çatlak tespiti ölçüm profilleri.....	79
Şekil 66.	Model 3 çatlaklı betonun zaman uzaklık grafiği.....	80
Şekil 67.	Küp numunelerde uygulanan testler.....	81
Şekil 68.	Model 1 üzerindeki elektrik özdirenç ölçümleri.....	83

Şekil 69.	A ve C kesitlerinde ıslaklık görülen kısımlar.....	84
Şekil 70.	Model 1 için A kesitinden alınan ölçümlerden oluşturulan elektrik özdirenç haritası.....	85
Şekil 71.	Model 1 B kesiti elektrik özdirenç haritası.....	86
Şekil 72.	Model 1 C kesiti elektrik özdirenç haritası.....	88
Şekil 73.	Sıvalı ve sıvasız yerde ölçüm.....	89
Şekil 74.	Model 2 AB kesiti elektrik özdirenç ölçümü.....	89
Şekil 75.	Model 2 AB kesiti elektrik özdirenç ölçüm noktaları ve ölçüm sonuçları....	90
Şekil 76.	Tavanda elektrik özdirenç ölçümü.....	90
Şekil 77.	Ölçüm noktaları ve doğrultuları.....	91
Şekil 78.	Yer radarı Model 1 1. kısım ve 2. kısım profil hatları.....	93
Şekil 79.	Yer radarı Model 1 3 boyutlu ölçümünden bir görünüm.....	94
Şekil 80.	Model 1 1.kısım yatay ve düşey profillerin radargramları a) 5. profil yatay b) 7. profil yatay c) 9. profil düşey d) 11. profil düşey.....	94
Şekil 81.	Model 1 1.kısım 3B gösteriminin $z=4.43$ cm'deki üstten görünümü.....	95
Şekil 82.	Model 1 1.kısım 3B'lu gösteriminin $z=4.43$ cm'de üstten görünümünde boyuna donatılar ve etriye.....	95
Şekil 83.	Model 1 2.kısım yatay ve düşey profillerin radargramları a) 5. profil yatay b) 7. profil yatay c) 9. profil düşey d) 10. profil düşey.....	96
Şekil 84.	Model 1 2.kısım 3B gösteriminin $z=3,31$ cm'deki üstten görünümü.....	96
Şekil 85.	Model 1 2.kısım 3B'lu gösteriminin $z=3.31$ cm'de üstten görünümünde boyuna donatı ve etriyeler.....	97
Şekil 86.	Model 1 A kesiti düşey ölçüm.....	98
Şekil 87.	Model 1 A kesiti düşey ölçümden elde edilmiş radargram.....	98
Şekil 88.	Model 2 AB kesiti üzerinde yapılan 2B 'lu ölçümler a) Profil numaraları, hatları ve yönleri b) AB kesiti 2B'lu ölçümünden görünüm.....	99
Şekil 89.	Model 2 AB kesiti radargramlar a) 1.ölçüm radargramı b) 2.ölçüm radargramı c) 3.ölçüm radargramı d) 4.ölçüm radargramı.....	100

Şekil 90.	Model 2 AB kesiti 3B ölçümler a) Grid kağıdının kolon üzerindeki konumu b) AB kesiti 3B'lu görüntü için profillerden yapılan ölçümden bir görünüm.....	102
Şekil 91.	Model 2 AB kesiti 3B'lu gösteriminin $z=6,66$ cm'de üstten görünümü a) Gain=20 b)Gain=30.....	102
Şekil 92.	Model 2 AB kesiti 3B'lu gösteriminin $z=6,66$ cm'de üstten görünümünde boyuna donatı ve etriyeler a) Gain=20 b) Gain=30.....	103
Şekil 93.	Model 2 BD kesiti üzerinde yapılan 2B'lu ölçümler a) Profil numaraları, hatları ve yönleri b) BD kesiti 2B'lu ölçüm yerleri.....	103
Şekil 94.	Model 2 BD kesiti radargramlar a) 1. ölçüm radargramı b) 2. ölçüm radargramı c) 3. ölçüm radargramı.....	104
Şekil 95.	Model 2 BD kesiti 3B ölçümler a) Grid kağıdının kolon üzerindeki konumu b) BD kesitinin görünümü.....	105
Şekil 96.	Model 2 BD kesiti 3B gösteriminin $z=12,46$ cm'de üstten görünümü.....	106
Şekil 97.	Model 2 BD kesiti 3B gösteriminin $z=12,46$ cm'de üstten görünümünde boyuna donatı ve etriyeler.....	106
Şekil 98.	Model 2 CA kesiti 2B ölçümler a) Profil numaraları, hatları ve yönleri b) CA kesiti 2B ölçüm yerleri.....	107
Şekil 99.	Model 2 CA kesiti radargramlar a) 1.ölçüm radargramı b) 2.ölçüm radargramı.....	107
Şekil 100.	Model 2 CA kesiti 3B ölçümler a) Grid kağıdının kolon üzerindeki konumu b) CA kesiti 3B'lu görüntü için profillerden yapılan ölçümden bir görünüm.....	108
Şekil 101.	Model 2 CA kesiti 3B gösteriminin $z=3,53$ cm'de üstten görünümü boyuna donatı ve etriyeler.....	109
Şekil 102.	Model 2 CA kesiti 3B gösteriminin $z=3,53$ cm'de üstten görünümünde boyuna donatı ve etriyeler.....	109
Şekil 103.	Model 2 DC kesiti 3B ölçümler a) Grid kağıdının kolon üzerindeki konumu b) DC kesiti 3B'lu görüntü için profillerden yapılan ölçümden bir görünüm.....	110
Şekil 104.	Model 2 DC kesiti 3B gösteriminin farklı derinliklerde üstten görünümü a) $z=8,0$ cm b) $z=10,23$ cm.....	110

Şekil 105. Model 2 DC kesiti 3B gösteriminin farklı derinliklerde üstten görünümünde boyuna donatı ve etriyeler a) $z=8,0$ cm b) $z=10,23$ cm.....	111
Şekil 106. Model 3 ölçümlerin kapsadığı malzemelerin gösterimi.....	111
Şekil 107. CA kesitinden başlayarak oluşturulan profillerden yapılan ölçümden bir görüntü.....	112
Şekil 108. CA kesiti üzerinden başlayarak yapılan ölçümlerin 3B gösteriminin farklı derinliklerde üstten görünümü a) $z=5,54$ cm'deki görüntü b) $z=12,79$ cm'deki görüntü c) $z=19,48$ cm'deki görüntü.....	113
Şekil 109. CA kesiti üzerinden başlayarak yapılan ölçümlerin 3B gösteriminin farklı derinliklerde üstten görünümünde malzemeler a) $z=5,54$ cm'deki görüntü b) $z=12,79$ cm'deki görüntü c) $z=19,48$ cm'deki görüntü.....	114
Şekil 110. BD kesiti üzerinden başlayarak oluşturulan profillerden ölçüm alımı.....	115
Şekil 111. BD kesiti üzerinden başlayarak yapılan ölçümlerin 3B gösteriminin farklı derinliklerdeki üstten görünümü a) $z=4,43$ cm'deki görüntü b) $z=13,36$ cm'deki görüntü c) $z=17,82$ cm'deki görüntü d) $z=19,61$ cm'deki görüntü..	116
Şekil 112. BD kesiti üzerinden başlayarak yapılan ölçümlerin 3B gösteriminin farklı derinliklerdeki üstten görünümünde malzemeler a) $z=4,43$ cm'deki görüntü b) $z=13,36$ cm'deki görüntü c) $z=17,82$ cm'deki görüntü d) $z=19,61$ cm'deki görüntü.....	117
Şekil 113. BD kesiti üzerinden başlayarak oluşturulan profillerden ölçüm alımı.....	118
Şekil 114. Grid kağıdının Çelik hasırlar üzerinde ölçüm yapılan kısımları.....	118
Şekil 115. BD kesiti üzerinden başlayarak yapılan ölçümlerin 3B'lu gösteriminin farklı derinliklerdeki üstten görünümü a) $z=4,43$ cm'deki görüntü b) $z=17,82$ cm'deki görüntü.....	119
Şekil 116. BD kesiti üzerinden başlayarak yapılan ölçümlerin 3B'lu gösteriminin farklı derinliklerdeki üstten görünümü a) $z=4,43$ cm'deki görüntü b) $z=17,82$ cm'deki görüntü.....	119

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Bazı malzemelere ait dielektrik, iletkenlik, hız değerleri (Annan, 2000).....	9
Tablo 2. GPR parametreleri (dielektrik sabit, elektrik iletkenliği ve anten frekansı) arasındaki ilişki (Annan, 1992).....	21
Tablo 3. Derinliğe bağlı örnek frekans seçimleri (Kadioğlu, 2004).....	28
Tablo 4. Beton durumuna göre seçilecek dielektrik sabiti yaklaşık değerleri.....	36
Tablo 5. Basınç ve kayma dalga hızlarına bağlı beton kalite sınıflaması.....	43
Tablo 6. Farklı araştırmacılara ait üssel ve eksponansiyel ilişkilerin katsayıları.....	46
Tablo 7. Korozyon riski (Proceq Resipod Family, 2013).....	56
Tablo 8. Korozyon oranı (Proceq Resipod Family, 2013).....	56
Tablo 9. TS EN 206-1' e göre Beton sınıfları ve dayanımları.....	60
Tablo 10. Beton malzemeleri ve miktarları.....	60
Tablo 11. Donatı Çapları.....	69
Tablo 12. Model 3 'te kullanılan malzemelerin özellikleri.....	71
Tablo 13. Model 1'den elde edilen ultrasonik hız değerleri.....	74
Tablo 14. Model 1 'den elde edilen sıva düzletmesi yapılmış ultrasonik hız değerleri..	75
Tablo 15. Model 2 ultrasonik hız değerleri.....	78
Tablo 16. Model 3 1.profil ve 2.profil dalga geçiş süreleri.....	80
Tablo 17. Ölçülen ultrasonik hız değerleri,basınç dayanım test sonuçları, numune bilgileri ve formülle hesaplanan basınç dayanım değerleri.....	82
Tablo 18. A kesiti üzerinden alınan elektrik özdirenç ölçüm sonuçları.....	84
Tablo 19. B kesiti elektrik özdirenç ölçüm sonuçları.....	86
Tablo 20. C kesiti elektrik özdirenç ölçüm sonuçları.....	87
Tablo 21. Tavanda yapılan elektrik özdirenç ölçüm sonuçları.....	91

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Kesit alanı
B	: Band genişliği
c	: Işık hızı
cm	: Santimetre
D	: Elektrik yer değiştirme
DAÖ	: Doğru akım öz direnç yöntemi
E	: Elektrik alan şiddeti
e	: Sıva kalınlığına bağlı hız düzeltme faktörü
f	: Frekans
f _c	: Beton dayanımı
GHz	: Gigahertz
GÖ	: Görünür Öz direnç
GPR	: Ground Penetrating Radar – Yer Radarı
H	: Manyetik alan şiddeti
h	: Derinlik
I	: Elektrik akımı
J	: Elektrik akım yoğunluğu
J _C	: İletim akımları
J _D	: Yer değiştirme akımları
K	: Geometrik faktör
m	: Metre
MPa	: Megapaskal
P	: Kırılmaya sebep olan yük
q	: Yük yoğunluğu
R	: Sinyal sönümü
r	: Yarıçap
t	: Zaman
V	: Hız

V_p	: P dalga hızı
V_{po}	: Sıvasız çıplak beton P dalga hızı
V_{ps}	: Sıvanın ultrason hızı
V_s	: S dalga hızı
δ	: Kayıp açısı
ϵ	: Dielektrik sabiti
ϵ_0	: Boşluğun elektrik geçirgenliği
ϵ_r	: Bağlı dielektrik geçirgenliği
λ	: Dalga boyu
μ	: Manyetik geçirgenlik
ρ	: Özdirenç
ρ_a	: Görünür özdirenç
σ	: Elektriksel iletkenlik
v	: Gerilim
ω	: Açısal frekans
Δt	: Örnekleme aralığı
2B	: İki boyutlu
3B	: Üç boyutlu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Türkiye aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu yüzden yapıların sağlamlığı oldukça önemlidir. Taşıyıcı elemanların içerisindeki donatı sayısı, çap ve konumlarının tespiti, yapı elemanları içerisinde kırık ve çatlakların belirlenmesi, yapı elemanlarında korozyon tespiti gibi birçok faktör de yapının sağlamlığında önemli parametrelerdir.

Betonarme, betonun çelik kullanılarak güçlendirilmesi ile ortaya çıkan ve günümüzde çok kullanılan yapı malzemesidir. Bina, yol, tünel, baraj, köprü, hidroelektrik santrali, liman, havalimanı ve daha birçok yapıda kullanılmaktadır.

İnşaat halindeki bir yapıda, beton dayanımının tespiti, yapının donatı çapı, sayısı, yeri ve paspayı tespitleri yapılmakta ve yapının projeye uygunluğu denetlenmektedir. Ayrıca mevcut yapılarda beton dayanımı, donatı, korozyon ve kırık-çatlak tespiti yapılarak yapının sağlamlığı araştırılır ve yapının durumuna göre desteklemeler yapılır. Özellikle tarihi yapılarda oluşabilecek hasarların önlenmesi sağlanır.

Günümüzde yapı denetiminde kullanılan beton testleri tek eksenli basınç deneyi, yarmada çekme deneyi ve eğilme dayanım deneyleridir. Özellikle tek eksenli basınç deneyi beton dayanımında en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde beton dökümü sırasında oluşturulan ya da mevcut yapıdan karot makinaları ile alınan beton numunelerine 7 veya 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra test uygulanır. Özellikle mevcut yapılardan alınan karot numuneleri yapıya hasar verir. Ayrıca sonuçları bölgesel bilgi verir. Yapı denetiminde kullanılan bir diğer alet Schmidt Çekici'dir. Schmidt Çekici yöntemi, yüzey sertlik değerini ölçerek betonun basınç dayanımına yaklaşım yapmakta kullanılır. Betonarme yapı içerisindeki donatı çubukları tespit etmek için donatı tespit cihazı kullanılmaktadır. Bu cihaz kullanılarak beton içerisindeki donatı çubuklarının yerleri, sayıları, donatı çubuklarını saran etriye sayıları, aralıkları ya da etriyenin olup olmadığı ve donatı çubukları ile etriyenin projeye uygunluğu araştırılır.

İnşaat yapılarının sağlamlık testleri veya projeye uygunluğu, yapılara zarar vermeden, hızlı bir şekilde jeofizik yöntemlerle araştırılabilmektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan numunelerden, ayrıca mevcut betonarme yapılardan, jeofizik yöntemlerden

ultrasonik, elektrik özdirenç ve yer radarı yöntemleri ile ölçümler alınmıştır. Ultrasonik ölçüm sonuçlarından beton kalite tespiti amaçlanmıştır. Ayrıca oluşturulan küp numunelere önce ultrasonik yöntem daha sonra basınç dayanım testi uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılıp, V_p hızından basınç dayanımı tespiti amaçlanmıştır. Kırık-çatlak tespiti amacıyla da ultrasonik yöntem ile ölçümler alınmıştır. Yer radarı yöntemi ile boyuna donatı ve etriye sayısı, yeri, paspayı tespiti, ayrıca PVC boru ve çelik hasır tespiti amaçlanmıştır. Elektrik özdirenç yöntemi ile yapılan ölçümler sonucu elde edilen özdirenç değerleriyle yapıda korozyon tespiti amaçlanmıştır.

1.2. Yapı Jeofiziği

Yapı incelemelerinde en önemli durum yapı iskeletini oluşturan elemanların (beton ve donatı) kalitesinin belirlenmesidir. Bina, köprü, fabrika vb. mühendislik yapılarının sağlamlığı veya projeye uygun imal edilip edilmediği, bu yapılara zarar vermeden jeofizik yöntemlerle araştırılabilir. Bu tür araştırmalara “Yapı Jeofiziği” araştırmaları denmektedir.

Yapı Jeofiziği’ nin, en önemli avantajları şunlardır:

- Yapı jeofiziği araştırmaları çok hızlıdır. Sonuç hemen verilir.
- İncelenen betonarme yapıdan bir örnek almaya gerek yoktur. Dolayısıyla yapıya zarar vermeden sağlamlığı incelenebilir.
- Karotlar alınarak yapılan incelemelerde, sadece karot numunenin alındığı yer incelenmiş olur. Karotun özelliği tüm binanın özelliği gibi yorum yapılır. Yapı Jeofiziği çalışmalarında ise yapının tamamı “cm” hassasiyetinde incelenebilir. Yani yapının bir tomografi görüntüsü elde edilmiş olur. Yapının hangi bölümleri sorunlu, hangi bölümleri sorunlu değil belirlenebilir (Candansayar, 2012).

Yapı jeofiziği kapsamında yapılarda kullanılan jeofizik yöntemler sismik ultrasonik yöntem, yer radarı yöntemi, elektrik özdirenç yöntemi ve mikrotremör yöntemidir.

Beton kalitesi klasik olarak yerinde karot alımı ve laboratuvarında basınç yöntemleri ile belirlenebildiği gibi jeofizik yöntemlerle yerinde yapıya hasar vermeksizin daha hızlı belirlenebilmektedir. Beton kalitesinin belirlenmesinde sismik hızlar kullanılmaktadır. Bu hızlar yerinde ve laboratuvar da belirlenebilir. Eğer yapıdan karot alınmışsa ister karot üzerinde ister karotun alındığı yerde sismik çalışmalar yapılabilir. Dolayısıyla az karotlu

ya da karot almadan beton kalitesi belirlenir. Beton kalitesi belirlemek için yerinde Sismik Ultrasonik ve Sismik tomografi çalışmaları yapılabilir (Uyanık, 2012).

Yer radarı yönteminin kullanım alanlarına son yıllarda yapı denetim sektörü de girmiştir. Yapı denetimi deyince ilk akla gelen bir binanın perde kolonlar içerisindeki demir donatıları, etriye ve çiroz gibi önemli elemanları belirleme; görüntüleme ve istenen şartlara uygunluğunu ortaya koyma; duvar örüntü ile sıva ve yalıtım malzemeleri ilişkisini ortaya koyma; duvar örüntü ve kolonlar içindeki kırıkları, çatlakları belirleme; temel yapısını araştırma gibi inşaat sektöründeki yapıların denetlenmesi gelmektedir. Yapı denetimi, eski binalara uygulanabildiği gibi yeni yapılmış binalara da uygulanabilir. Sadece binalarla sınırlamak da yanlıştır. Kara ve demiryolları yapım ve onarım denetimleri; köprü, baraj ve tünel yapım ve onarım denetimleri; maden ocağı galeri denetimi de yapı denetimi kapsamındadır. Tarihi yapıların ve anıt yapıların korunması da yapı denetimi kapsamındadır. Son yıllara kadar tarihi yapıların restorasyonu deyince akla sadece temizleme, uygun kaya tipi ile dolgu yapma gelmekteydi. Şimdi ise öncelikle yer radarı yöntemi ile temel yapısının araştırılması, temel de olabilecek kırıkların belirlenmesi, özellikle yapı kolonlarındaki kırık ve çatlakların varlığının araştırılması gerçekleştirilmekte olup daha sonra orijinal kayanın petrografik analizleri yapılarak çevresine en yakın alandan uygun kaya tipi ile onarımlar gerçekleştirilmektedir. Yer radarı ile herhangi bir sorun belirlenmişse özel güçlendirme çalışmaları yapılmaktadır (Kadioğlu ve diğ., 2012).

Yapı jeofiziği çalışmalarında wenner elektrod dizilimi için ölçülen verilerden elde edilen görünür öz direnç verileri, öz direnç olarak kabul edilerek yorum yapılmaktadır. Bu görünür öz direnç değerleri kullanılarak betonun nemlilik ve korozyonunun belirlenmesi, bölgesel katodik koruma yerlerinin belirlenmesi, beton kalitesinin incelenmesi ve beton ıslah çalışmalarının başarısının araştırılması için kullanılmaktadır (Candansayar, 2015).

Doğal titreşimlerin ölçüldüğü ve yorumlandığı mikrotremor yöntemi zemin tabakasının doğal titreşim periyodu ve titreşim genlik büyütme katsayısının elde edilmesine yönelik olarak yaygın kullanılmaktadır. Yer için elde edilen bu iki fiziksel niceliğin yapı içinde aynı yöntem ile hesaplanması söz konusudur. Yapı katları için hesaplanacak doğal titreşim frekans ve titreşim genlik büyütme katsayısı kullanılarak her bir yapı katının deprem esnasında davranışını da gösterecek olan zayıflık indisi elde edilebilir (Dikmen, 2015).

1.3. Önceki Çalışmalar

Betonarme elemanların dayanımları tarihsel olarak daima silindirik veya kübik beton numunelerin laboratuvarda kırılması yolu ile tayin edilegelmiştir. Halbuki, V_p ultrasonik dalga yayılma hızını tahribat yapmaksızın ölçerek, betonun karakteristik basınç dayanımını güvenilir bir hassasiyetle tayin edilebilir. Uyanık ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada, betonun V_p – ultrasonik boyuna dalga hızını, ultrasonik alet ile ölçerek, beton dayanımının nasıl tayin edildiği, ayrıntıları ile anlatılmıştır.

Ultrasonik yöntemle sadece beton dayanımı değil aynı zamanda dinamik elastik parametreler de belirlenebilmektedir. Yapılan diğer bir çalışmada silindir ve küp betonların P ve S dalga hızları ölçülmüştür. Bu beton örneklerinin serbest basınç dayanımları belirlendikten sonra P ve S dalga hızları ile ilişkilendirilerek deneysel bağıntılar geliştirilmiştir. Geliştirilen deneysel ilişkinin literatür ilişkileri ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuç olarak yapıdaki betonu tahrip etmeden dayanımını belirlemek hem ekonomi hem de zaman açısından faydalı olduğu sonucuna varılmıştır (Uyanık ve diğ., 2012).

Hannachi ve Guetteche (2012) tarafından yapılan çalışmada beton kalitesini belirlemek için ultrasonik yöntem ve schmidt çekici yöntemi uygulanmıştır. İki test yöntemi beraber kullanılarak istatistiksel analiz ve beton basınç dayanım tahmini için çalışılmıştır. Mekanik testlerden elde edilen basınç dayanım değerleri ile tahribatsız tekniklerden ultrasonik ve schmidt çekici yöntemlerinin sonucunda elde edilen basınç dayanım tahminleri karşılaştırıldığında, dayanım tahminlerinin güvenilir olduğu görülmüştür. Sonuçların yerinde, hızlı ve düşük maliyetle elde edildiği belirtilmiştir.

Pekşen ve diğ. (2015) tarafından hazırlanan makalede anlatılan iki örnek çalışmada yer radarı yöntemi ile yapı elemanlarının geometrisi ortaya konulmuş ve paspayı hesaplanmıştır. İlk örnek olarak, bir inşaatta donatının, beton dökülmeden önce fotoğrafı çekilmiştir. Beton döküldükten iki hafta sonra yer radarı ile kolon üzerinde ölçüler alınmış, donatıların geometrileri ve paspayı hesaplanmıştır. İkinci örnekte ise bir binanın tabanında 1,6 GHz, 2,0 GHz ve 2,6 GHz 'lik antenler ile aynı profil üzerinde kaydedilmiş radargramlar yorumlanmış ve donatıların geometrisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yer radarının donatıların geometrisinin çıkarılması ve paspayı hesaplanmasında kullanımı gösterilmiştir.

Yer radarı ölçümleri sonucu beton içinde gözlemlenebilecek muhtemel anomaliler yapının iskeletini oluşturmakta kullanılan çelik ya da demirden, tesisatlar için kullanılan borulardan ve beton içindeki boşluklardan kaynaklanabilir. Buna rağmen kaydedilen anomalilerin çoğu direk olarak nesnenin türü ile ilgili bilgi içermez. Boruların yerlerinin belirlenmesinin yanı sıra boru malzemesinin türünün ve içinde su olup olmadığının bilinmesi de bazı araştırmalar için önemlidir. Kaplanvural ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada, boruların iç ve dış malzemelerinin yer radarı sinyalleri ve modelleme ile tanımlanabileceği ifade edilmiştir. Deneysel model ile farklı malzemedan yapılmış boruların, farklı yarıçaplarda ve farklı malzeme ile dolu olduğu durumlar yer radarı yöntemi ile araştırılmıştır. Modelleme çalışmaları da yapılarak sonuçlar desteklenmiştir. Çalışmada 2 GHz'lik merkez frekansa sahip korumalı anten kullanılmıştır.

Yapılan diğer bir çalışmada oluşturulan betonarme yapıda yer radarı yöntemi ile donatı yeri, derinliği ve çapının tahmini amaçlanmıştır. Çalışmada 2.6 GHz frekanslı alet kullanılarak ölçümler alınmıştır. Donatı yerleri ve derinlikleri tespit edilmiş ve donatı yarıçapı tahmininde kullanılan enerji denklemi ile yarıçaplar tespit edilmiştir. Tespit edilen yarıçapların $\pm 2.5\%$ aralığında gerçek değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir (Lakshmi ve diğ., 2016).

Yapılan başka bir çalışmada içerisinde plastik boru, donatı ve çimento enjekte edilmiş boru malzemeleri bulunan üç farklı numune oluşturulmuştur. Birinci numuneye plastik borular, ikinci numuneye enine ve boyuna çelik donatılar yerleştirilmiştir. Üçüncü numuneye yarısına çimento enjeksiyonu yapılmış, yarısı boş olan plastik boru yerleştirilmiştir. Yer radarı yöntemi ile malzemelerin tespiti amaçlanmıştır. Çalışmada 1.6 GHz frekanslı alet kullanılarak ölçümler alınmıştır. Ölçüm sonuçlarından radargramlar ve 3B'lu görüntüler elde edilmiştir. Radargramlar ve 3B'lu görüntüler ile numunelerde malzemeler ve yerleri tespit edilmiştir (E. Cheilakou ve diğ., 2013).

Tahribatsız yapı testlerinde kullanılan jeofizik yöntemlerden diğerleri de elektrik ve elektromanyetik yöntemlerdir. Candansayar (2015) tarafından yapılan bir çalışmada uygulamalı Jeofizik çalışmalarında en çok kullanılan elektrik yöntemlerden doğru akım özdirenç ve elektromanyetik yöntemlerden, yer radarı yöntemlerinin dayandığı fizik temel kuralları ile bu iki yöntemin yapı jeofiziği çalışmalarında ne amaçla kullanıldıkları açıklanmıştır. Ayrıca tahribatsız yapı incelemelerinde bu iki yöntem ile ilgili uygulama örnekleri verilmiştir. Yine bu iki yöntemin yapı incelemelerinde nasıl uygulanacağı konusundaki uluslararası standartlar tanıtılmıştır.

1.4. Amaç ve Hedefler

Bu çalışmada yapı jeofiziği incelemelerinde kullanılan jeofizik yöntemler açıklanmıştır. Oluşturulan beton ve betonarme numunelerde, ayrıca mevcut betonarme yapılarda donatı, paspayı, beton kalite ve dayanımı, korozyon durumu tespitleri amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında donatılı bir kolon yapısı oluşturulmuştur. Donatı çapı, aralığı ve paspayı bilinen yapı üzerinde yer radarı yöntemi ile ölçümler yapılarak donatıların tespiti hedeflenmiştir. Kolon yapısı üzerinde ultrasonik yöntem ile V_p hızları ölçülerek kolonun beton kalitesinin tespiti hedeflenmiştir. Betonun nemli yapısının etkisinin tespiti için yapı üzerinde elektrik özdirenç ölçüleri alınmıştır.

Çalışma kapsamında yatay bir kalıp oluşturulup içerisine farklı çaplarda PVC borular, çelik donatılar ve 2 kat çelik hasır yerleştirilmiştir. Yerleştirilen malzemelerin tespiti amacıyla yer radarı yöntemi ile ölçümler alınmıştır. Yatay kalıbın çatlak olduğu gözlemlenen kısımdan ultrasonik yöntem ile ölçümler alınmıştır. Çatlağın tespitinin ve derinliğinin saptanması hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında küp şeklinde beton numuneleri oluşturulup 28 gün havuzda bekletildikten sonra önce ultrasonik yöntemle ölçümler alınmış daha sonra tek eksenli basınç dayanım testi uygulanmıştır. Ultrasonik yöntem ile elde edilen V_p hız değerlerinden betonun kalitesi ve basınç dayanımı tespiti hedeflenmiştir. V_p hız değerlerinden elde edilen basınç dayanım değerleri ile tek eksenli basınç dayanım testi sonucunda elde edilen basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında mevcut bir kolon üzerinde ultrasonik yöntem, yer radarı yöntemi ve elektrik özdirenç yöntemleri uygulanmıştır. Ultrasonik yöntem ile V_p hızları ölçülerek kolonun beton kalitesinin tespiti hedeflenmiştir. Kolon üzerinde yer radarı ölçüleri ile boyuna donatı, etriye ve paspayı tespiti hedeflenmiştir. Kolon üzerinde elektrik yöntem ile ölçümler yapılarak korozyon durumu tespiti hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında tavan kısmında korozyon olduğu gözlemlenen mevcut başka bir yapıda elektrik özdirenç yöntemi uygulanarak ölçümler yapılmış ve ölçümler sonucu elde edilen özdirenç değerleri ile yapının korozyon durumunun tespiti hedeflenmiştir.

1.5. Kullanılan Yöntemler

1.5.1. Jeofizik Yöntemler

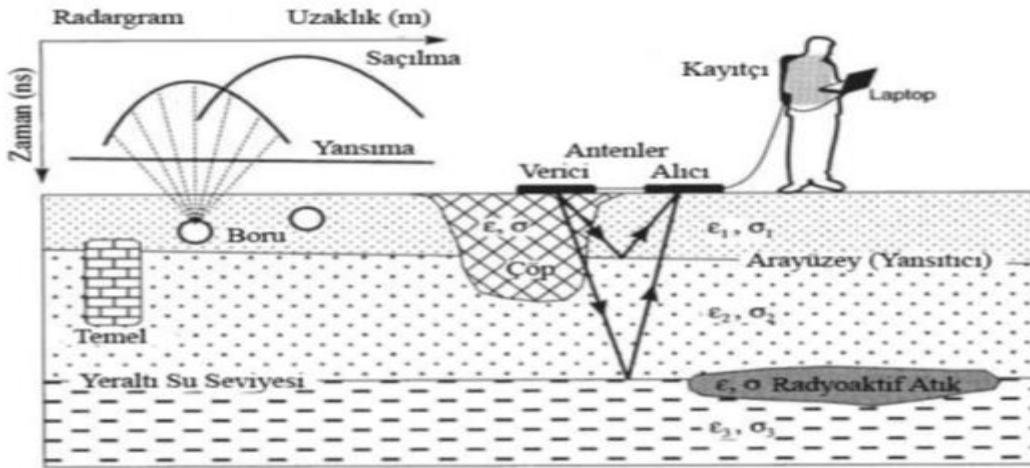
Bu çalışma kapsamında yapı jeofiziği araştırmaları için Yer Radarı Yöntemi, Ultrasonik Yöntem ve Elektrik Özdirenç Yöntem kullanılmıştır.

1.5.1.1. Yer Radarı Yöntemi

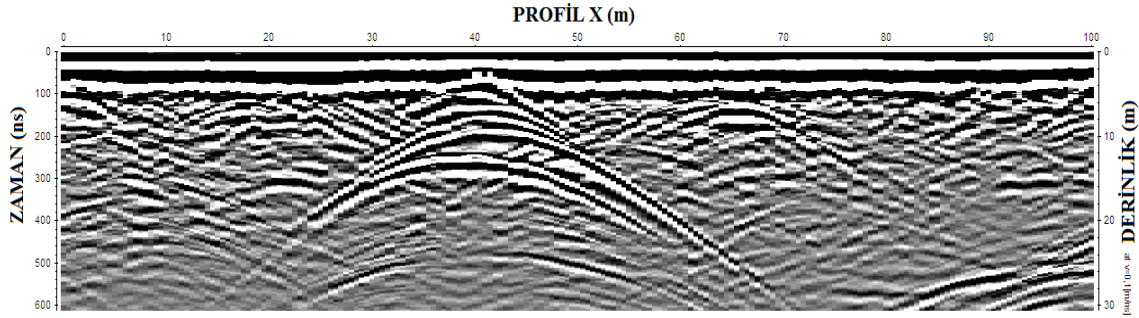
1.5.1.1.1. Yöntemin Tanımı ve Çalışma Prensibi

Yer radarı yöntemi (Ground Penetrating Radar - GPR), yüzeyin sığ derinliklerini araştırmak için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik, jeofizik yöntemdir. Yöntemin kullanımının kolay olması ve çok hızlı veri toplanabilmesi, veri toplama sırasında çalışma alanında herhangi bir tahribat oluşturmaması, santimetre düzeyinde yüksek çözünürlüklü iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) yer altı görüntülemenin yapılabilmesi bu yöntemin, en önemli avantajlarıdır. Bu yöntemle, yapıların konum ve derinliklerinin çok daha net belirlenebilmesi, özellikle 3B görüntüleme ile karmaşık yapı bölgelerinde aranan özel yapının kararlaştırılması ve oldukça etkin görüntü ile sunulabilmesi özellikleri nedeniyle tüm sığ araştırmalarda, son yıllarda en çok kullanılan jeofizik yöntem olmuştur (Annan, 2000).

Bir yer radarı sistemi verici anten, alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçidan oluşmaktadır. Verici anten aracılığıyla yeraltına çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar gönderilir. Yeraltında ilerleyen dalgaların bir kısmı karşılaştıkları cisimlerden veya farklı yapıdaki jeolojik birimlerin ara yüzeylerinden yansiyarak alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçı yardımıyla zamanın fonksiyonu olarak kayıt edilirler. Dalgaların diğer kısmı ise daha derinlere iner (Şekil 1). Bir noktadaki ölçüm zamana göre alıcı antene ulaşan elektromanyetik dalgaya ait genlik değerleridir. Bunlara radar izi veya elektromanyetik dalga alanı adı verilir. Bir profil boyunca tüm ölçüm noktalarındaki radar izleri yan yana getirilerek profil üzerindeki konumları ile sıralandıklarında yatay eksenini (x doğrultusu) profil başlangıç noktasına göre uzaklık (profil boyu), düşey eksenini nanosaniye (ns) mertebesinde kayıt zamanı (gidiş-geliş) olan 2B radar kesitini oluştururlar. Bu kesit radargram adı ile tanımlanır (Şekil 2).



Şekil 1. Yer radarı yönteminin çalışma prensibi (Knödel ve diğ., 1997).



Şekil 2. 2B yer radarı kesiti (Radargram örneği)

Verici antenden çıkan elektromanyetik dalgaların yer içinde ilerleme hızı, ortamın dielektrik sabitine ve manyetik geçirgenliğine bağlıdır. Dalganın nüfuz derinliği ise dalganın frekansına ve ilerlediği ortamın elektrik iletkenliğine bağlıdır. Düşük frekanslarda penetrasyon derinliği artar, düşey ayrımlılık azalır, yüksek frekanslarda düşey ayrımlılık artar, penetrasyon derinliği azalır.

Genellikle çalışılan ortamın düşük iletkenlikli ortam olması istenir. Bu tip bir ortamın matematiksel ifadesi $\sigma/\omega\epsilon \ll 1$ olarak verilir. Kum ve granit gibi düşük iletkenlikli ortamlarda yer radarı dalgaları derinlere ulaşabilirken; kil, şeyl gibi iletken ortamlar, iletilen sinyalin penetrasyon derinliğinin azalmasına ve soğrulmasına neden olmaktadır (Annan ve diğ., 1988). Düşük iletkenlikli ortamda 5-20 metre derinlere kadar penetrasyon sağlanabilirken, iletken ortamlarda bu derinlik birkaç metre olmaktadır (Davis ve Annan, 1986). Bazı jeolojik malzemelere ait dielektrik, iletkenlik, hız değerleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Bazı jeolojik malzemelere ait dielektrik, iletkenlik, hız değerleri (Annan, 2000).

Malzeme	Bağıl dielektrik katsayısı (ϵ_r)	İletkenlik (σ ms/m)	Yayılm Hızı (V, m/ns)
Hava	1	0	0,3
Buz	3-4	0,01	0,16
Su (taze)	80	0,5	0,033
Su (tuzlu)	80	3000	0,01
Topraklar			
Kil	5-40	2-1000	0,06
Toprak (kuru)	3-5	0,01	0,15
Toprak (doygun)	20-30	0,1-1,0	0,06
Silt	5-30	1-100	0,07
Mineraller			
Kalsit	7,8-8,5	$5*10^{-10}$	0,11
Kuars	4,2-5	$3*10^{-4}$ - $5*10^{-12}$	0,13-0,15
Tortul Kayaçlar			
Kireçtaşı	4-8	0,5-2	0,12
Tuz (kuru)	5-6	0,01-1	0,13
Kumtaşı	4<7-12	$1*10^{-5}$ -0,7	0,09-0,14
Şeyl	5-15	1-100	0,09
Magmatik kayalar			
Bazalt	12	$8*10^{-6}$ -0,025	0,09
Dasit	6,8-8,2	0,05	0,12
Diyabaz	10,5-34,5	$2*10^{-5}$ -50	0,05-0,09
Diyorit	6	0,0002-0,002	0,12
Gabro	8,5-40	0,001-1	0,05-0,10
Granit	4,6	0,01-1	0,13
Norit	61	0,02-1	0,04
Peridotit	8,6	0,15-0,33	0,1

1.5.1.1.2. Yöntemin Tarihçesi

1865 yılında İngiliz fizikçi James Clerk Maxwell elektromanyetik dalgaları ve bunların yayılmasını açıklayan elektromanyetik ışık kuramını ortaya atmıştır. 1886 yılında Alman fizikçi Heinrich Rudolf Hertz elektromanyetik dalgaları keşfetmiş ve Maxwell'in kuramını kanıtlamıştır.

1939 yılında başlayan İkinci Dünya Savaşı esnasında Alman, Fransız, İngiliz ve Amerikan fizikçilerin radar konusu ile ilgili çalışmaları artmıştır. 1940 yılında 180 km mesafedeki hedefi hassas bir şekilde tespit edebilecek radarlar yapılmıştır. 1940 yılında İngiliz fizikçilerin keşiflerinden sonra, radar gücü birkaç bin misli arttırılmıştır. Almanların savaşı kaybetmelerinde büyük rolü olan bu buluş ile modern radarların yapımına geçilmiştir. Bu dönemde ilk kez yer altındaki nesnelere yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bu dönemde yöntem kutuplardaki buz tabakası kalınlığını belirlemede ve gezegen araştırmalarında kullanılmıştır (Davis ve Annan, 1989).

1970'li yıllarda kullanılmaya başlanan yer radarı, 1980'li yıllarda iyi ayrımlılık veren 500 MHz -1GHz antenlerle doğal soğurmanın daha az olduğu sığ incelemeler için kullanılmaya başlanmıştır. 1990' larda ise düşük (10, 20 ve 50 MHz) ve yüksek (2,5-3 GHz) merkez frekanslı antenler kullanılmıştır.

Günümüzde çalışma alanı oldukça genişlemiştir. Özellikle son yıllarda yüksek frekanslı yer radarı aletleri yapı denetimi araştırmalarında kullanılmaya başlanmıştır.

1.5.1.1.3. Yer Radarı Yönteminin Kullanıldığı Alanlar

Yöntem daha çok jeoteknik ve jeolojik araştırmalarda kullanılmaktadır. Bu kapsamındaki çalışmalar ile yüzeydeki gevşek zon tespiti, ana kaya derinliğinin saptanması, zemindeki süreksizliklerin saptanması, otoyol, tünel ve demiryolu güzergah çalışmaları, boşlukların saptanması ve su tablasının belirlenmesi sağlanır.

Otoyolların asfalt ve dolgularında yer yer deformasyonlar ortaya çıkar. Deformasyonların kaynağı gerek doğal afetler gerekse beklenenin üzerindeki yükler olabilir. Bölgesel olan deformasyon önlem alınmazsa daha büyük deformasyonlara neden olabilir. Bunun için deformasyona neden olan kaynağın tespitinde yer radarı yöntemi kullanılmaktadır.

Yöntem kanalizasyon, su, akaryakıt ve doğalgaz boru hatlarında, elektrik ve haberleşme kablolarının gömüleceği hatta uygun zeminin bulunması için kullanılmaktadır. Ayrıca önceden gömülmüş, bulunması için yer tespiti gerektiren araştırmalarda kullanılmaktadır.

Madenlerin saptanmasında, işletmeye alınacak madenlerin ocak sınırlarının tespitinde kullanılmaktadır.

Eski medeniyetlere ait tarihi yapıların yerinin tespiti için kullanılmaktadır. Arkeologlar ile ortak çalışma yapılarak tahribat olmadan kazı yapılması sağlanmaktadır.

Yapı denetiminde kullanılmaktadır. İnşaat halindeki yapıların donatı ve paspayı tespitlerinde kullanılır. Ayrıca mevcut yapıların destekleme sistemlerinin durumlarının belirlenmesinde, kırık ve çatlak tespitinde kullanılır. Özellikle tarihi yapılarda destekleme gerektiren yerler tespit edilir.

Güvenlik ve kriminal araştırmalarda da yer radarı yöntemi kullanılmaktadır.

1.5.1.1.4. Yer Radarı Yöntemi Avantaj ve Dezavantajları

Yer radarı yönteminin günümüzde kullanımının artmasında, etkili olan birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar;

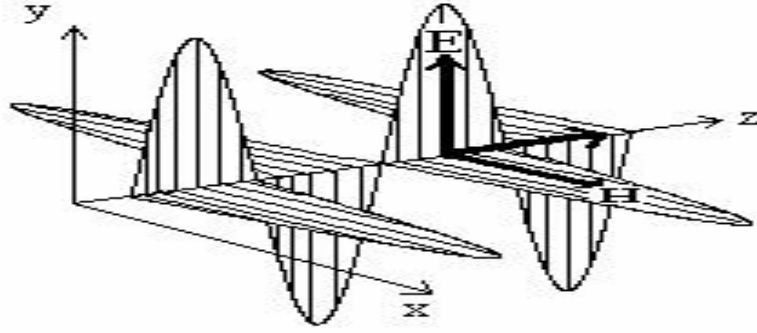
- Yüksek frekanslı kaynak kullanılmasından dolayı çözünürlüğü yüksektir.
- Araştırmada hedeflenen yapının derinliği, yapının elektriksel özelliklerine, ortamın jeolojik özelliklerine ve seçilen elektromanyetik dalganın merkezi frekansına bağlı olarak hesaplanabilir.
- İnsan kaynaklı gürültüler veri işlem teknikleri ile atılabilir.
- Arazide uygulanışı kolay ve hızlıdır.
- Uygulandığı yere herhangi bir hasar vermez.

Yöntemin dezavantajları ise;

- Yüksek frekanslı kaynak kullanılması çözünürlüğünü arttırsa da araştırma derinliğini azaltmaktadır.
- Çevredeki radyo vericileri gürültü kaynağıdır ve ölçülen sinyaller kayıt aygıtının dışına taşabilirler.
- Çalışma alanındaki jeolojik unsurlar sinyallerin yeraltına nüfuz etmesini engelleyebilmektedir. İletken birimler üzerinde bilgi alınması zor olmaktadır.
- Kayıtlara çevredeki yapılardan gelen yansımalar karışabilmektedir.

1.5.1.1.5. Elektromanyetik Dalga Denklemleri

Bu bölümde kısaca Elektromanyetik Yöntemin teorik esasları verilmeye çalışılmıştır. Elektrik ve manyetik alan etkisiyle, enerjinin dalgalar halinde taşınmasına elektromanyetik dalgalar denir. Elektromanyetik alanın kaynağı, elektrik alan ve manyetik alan olduğundan, elektromanyetik dalgaların yönü bunlar yardımıyla bulunabilir. Elektrik alan (E) ve manyetik alan (H) birbirine diktir. Elektromanyetik alan (P) ise, bu ikisinin meydana getirdiği düzleme diktir (Şekil 3).



Şekil 3. Birbirine dik hareket eden elektrik alan ve manyetik alanın homojen ortamdaki yayılımı (Annan, 2001).

Bir ortamda yayınan elektromanyetik dalgalar ve oluşan alanlar arasındaki ilişkiler Maxwell denklemleriyle tanımlanabilir. Elektromanyetik kuramı oluşturan Maxwell denklemlerinin zaman ortamındaki türev biçimi;

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = q \quad (4)$$

bağıntıları ile verilir.

Burada;

\vec{E} : Elektrik alan şiddeti (V/m)

\vec{H} : Manyetik alan şiddeti (A/m)

q: Yük yoğunluğu (Coulomb/m³)

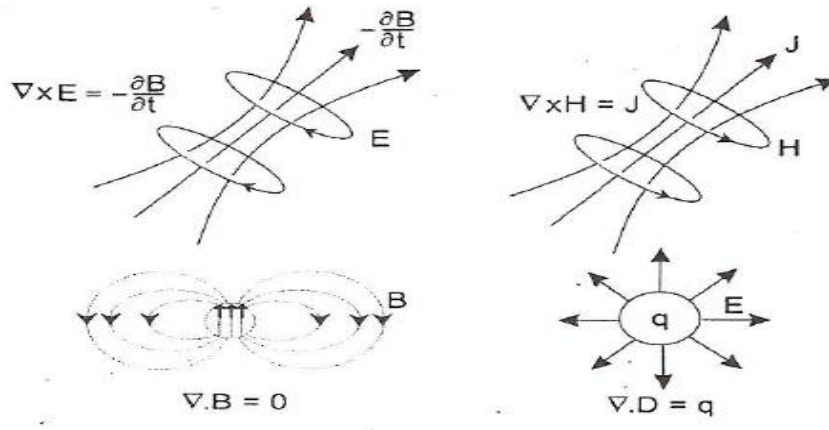
\vec{B} : Manyetik akı yoğunluğu (Weber/m²=Tesla)

\vec{J} : Elektrik akım yoğunluğu (A/m²)

\vec{D} : Elektrik yer değiştirme (Coulomb/m²)

olarak tanımlanmaktadır.

Maxwell denklemlerinin 1. bağıntısı (1) zamanla değişen manyetik akı yoğunluğu ile uyartılan elektrik alanın ilişkisini gösteren Faraday yasasının matematiksel karşılığıdır. Maxwell'in 2. bağıntısı (2) Amper yasasıdır. Akım ile manyetik alan arasındaki bağlantıyı tanımlar; yani bir manyetik alan, boşlukta akım akışıyla meydana getirilebilir ve bu alan ortamdaki toplam akım (iletim akımları ve yer değiştirme akımları) ile orantılıdır. 3.bağıntı (3), manyetik akı yoğunluğunun kaynaksız olduğunu ve alan çizgilerinin kapalı olduğunu göstermektedir; herhangi bir kapalı yüzeyden çıkan toplam manyetik akı sıfırdır. Oysa, elektrik yüklerden kaynak olarak elektrik alan çizgileri çıkmaktadır (4) (Özürlan ve Uluggerli, 2005). Şekil 4'te Maxwell denklemlerinin fiziksel ifadeleri şematik gösterilmiştir.



Şekil 4. Maxwell denklemlerinin fiziksel ifadelerinin şematik gösterimi

Homojen ve izotrop ortam için malzeme denklemleri;

$$B = \mu H \quad (5)$$

$$D = \varepsilon E \quad (6)$$

$$J = \sigma E \quad (7)$$

biçiminde yazılır.

μ : Manyetik geçirgenlik (Henry/m)

ε : Dielektrik sabiti (Farad/m)

σ : Elektriksel iletkenlik (Simens/m)

Serbest boşluğun manyetik geçirgenlik değeri $4\pi \times 10^{-7}$ Henry/m ve dielektrik sabiti değeri $8,85 \times 10^{-12}$ Farad/m'dir.

Malzeme denklemleri kullanılarak (1) ve (2) denklemleri

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (8)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (9)$$

olarak yazılır ve

$$\nabla \times \nabla \times \vec{A} = \nabla(\nabla \cdot \vec{A}) - \nabla \cdot \nabla \vec{A} = \nabla(\nabla \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A} \quad (10)$$

özdeşliği kullanılırsa;

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{H}) = \mu \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (11)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = -\sigma (\nabla \times \vec{E}) - \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{E}) = \mu \sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (12)$$

denklemleri elde edilir.

Maxwell denklemleri kullanılarak zaman ortamı için elektromanyetik dalga denklemleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (13)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \mu \sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (14)$$

Helmholtz denklemleri olarak isimlendirilen her iki denklemin birbirine benzer olduğuna dikkat edilmelidir.

Zaman ortamındaki elektromanyetik dalga denklemleri Fourier dönüşümünden yararlanılarak frekans ortamına çevrilir. $\frac{\partial}{\partial t} \xrightarrow{\text{Fourier Dönüşümü}} i\omega$ ve

$\frac{\partial^2}{\partial t^2} \xrightarrow{\text{Fourier Dönüşümü}} -\omega^2$ çiftinden yararlanarak aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \xrightarrow{\text{Fourier Dönüşümü}} \nabla^2 \vec{E} = i\omega\mu\sigma \vec{E} - \omega^2 \varepsilon\mu \vec{E} \quad (15)$$

$$\nabla^2 \vec{E} + (\omega^2 \varepsilon\mu - i\omega\mu\sigma) \vec{E} = 0 \quad (16)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \mu\sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \xrightarrow{\text{Fourier Dönüşümü}} \nabla^2 \vec{H} = i\omega\mu\sigma \vec{H} - \omega^2 \varepsilon\mu \vec{H} \quad (17)$$

$$\nabla^2 \vec{H} + (\omega^2 \varepsilon\mu - i\omega\mu\sigma) \vec{H} = 0 \quad (18)$$

Bu denklemler iletkenliği σ , manyetik geçirgenliği μ ve dielektrik sabiti ε olan tek düze ve tek tip ortamda elektrik ve manyetik alan yöneylerinin yayınımları tanımlayan elektromanyetik dalga denklemleridir.

1.5.1.1.6. Elektromanyetik Dalgaların Yayınımları Etkileyen Fiziksel Özellikler

1.5.1.1.6.1. Dielektrik Sabiti

Dielektrik, elektriksel yalıtkanlıkla eş anlamlıdır. Dielektrik sabiti bir malzemenin yük depolayabilme yeteneğini ölçmeye yarayan katsayıdır. Birimi Farad/metre'dir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$D = \varepsilon E \quad (19)$$

Dielektrik bir ortamda elektrik alan şiddeti arttığında, elektrik yer değiştirme hareketi bu ortamda birikmektedir. Daha sonra elektrik alan azaldığında, ortamda biriken enerji salınır ve yer değiştirme akımları meydana gelmektedir. Bir maddenin bağıl dielektrik geçirgenliği (ε_r), o madde elektromanyetik enerjiyle yüklendiğinde, enerjiyi depolama ve daha sonra elektromanyetik enerjinin geçişine izin verme kapasitesi olarak tanımlanır (Von Hippel, 1954).

Malzemenin dielektrik sabiti ϵ , boşluğun dielektrik sabiti ϵ_0 'a oranlandığında göreceli dielektrik sabiti olan ϵ_r değeri bulunur.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (20)$$

1.5.1.1.6.2. Manyetik Geçirgenlik

Bir malzemenin manyetik alan etkisinde kalması durumunda edinmiş olduğu mıknatıslık özelliğinin derecesidir. Birimi Henry/metre'dir ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$B = \mu H \quad (21)$$

Ortamda bulunan bir manyetik alan, manyetik dipol momentini dizilimi değiştirmek ve uygulanan manyetik alanın yönünde sıralamak için indükler. Genelde manyetik alana verilen bu cevaplar zayıftır ve manyetik geçirgenlikte çok önemli değişikliklere yol açmazlar. Bu yüzden radar uygulamalarında elektriksel özelliklere göre daha az etkiye sahiptirler.

1.5.1.1.6.3. Elektrik İletkenlik

Elektrik ve elektromanyetik yöntemler ile ulaşılmak istenen ana fiziksel özellik, kayaçların veya doğadaki malzemelerin içinden geçen elektrik akıma direnci veya onun tersi olan akım geçirebilmenin ölçüsü olan elektrik iletkenliktir (Özürlan ve Ulugergerli, 2005). Birimi Siemens/metre'dir.

Elektrik iletkenliğin tersi öz dirençtir ve ρ ile gösterilir. Birimi Ohm-m'dir.

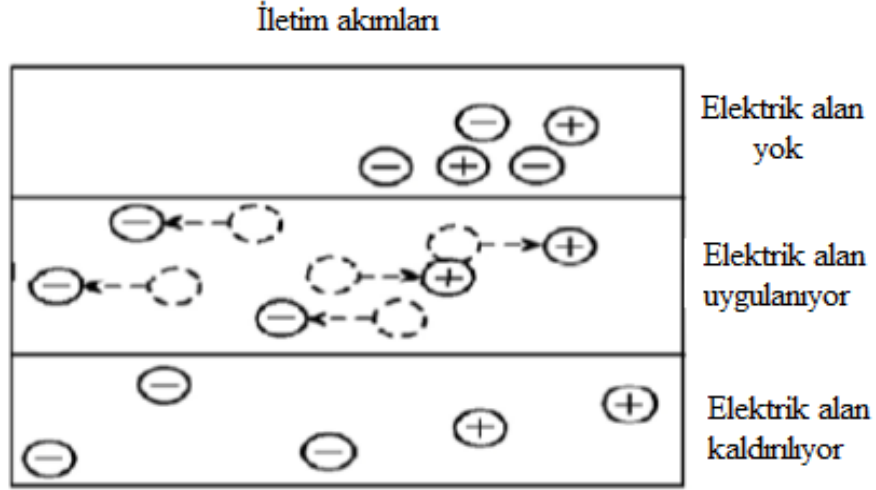
$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (22)$$

dir. Bir malzeme veya kayaç içerisinde bulunan yükler bir elektrik alan uygulandığında hareket ederek elektrik akım oluştururlar ve alan kaldırıldığında hareketlerini durdururlar. Bunlar iletim akımlarıdır (Şekil 5). Aşağıdaki bağıntı ile ifade edilirler.

$$J = \sigma E$$

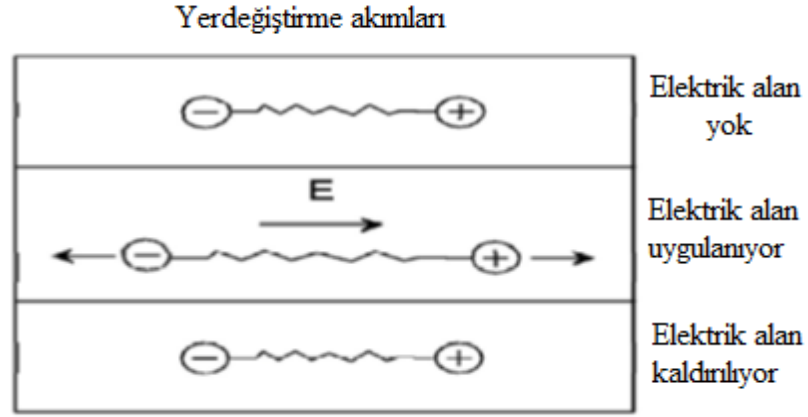
(23)

Bu bağıntı, iletim akımı ile uygulanan elektrik alan arasındaki ilişkiyi ifade eder. Burada σ elektrik iletkenliktir.



Şekil 5. Elektrik alan uygulandığında serbest elektrik yüklerinin hareketi (Annan, 2001).

Yer değiştirme akımları maddenin yapısında bulunan bağlı yüklerin dışarıdan uygulanan elektrik alan etkisiyle harekete zorlanması sonucu oluşur. Bağlı yüklere atomun çekirdeği çevresindeki elektron bulutu örnek verilebilir. Başlangıçta durağan olan bağlı yükler elektrik alan uygulandığında, bağlarının müsaade ettiği miktarda diğer bir durağan konuma hareket ederler. Yer değiştirme hareketinin tamamlanmasının hemen ardından, elektromanyetik enerji elektrik alandan ortama aktarılır ve ortamda depolanır. Uygulanan elektrik alan kaldırıldığında, yük başlangıçtaki denge konumuna geri döner ve bu esnada depolanan enerji geri bırakılır (Öğretmen, 2012). Uygulanan elektrik alan doğrultusunda bağlı elektrik yüklerinin yer değiştirme hareketi Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Uygulanan elektrik alan doğrultusunda bağlı elektrik yüklerinin yer değiştirme hareketi (Annan, 2001).

$$J_D = \frac{\partial D}{\partial t} = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (24)$$

(24) bağıntısı yer değiştirme akım ile uygulanan elektrik alan arasındaki ilişkiyi tanımlar.

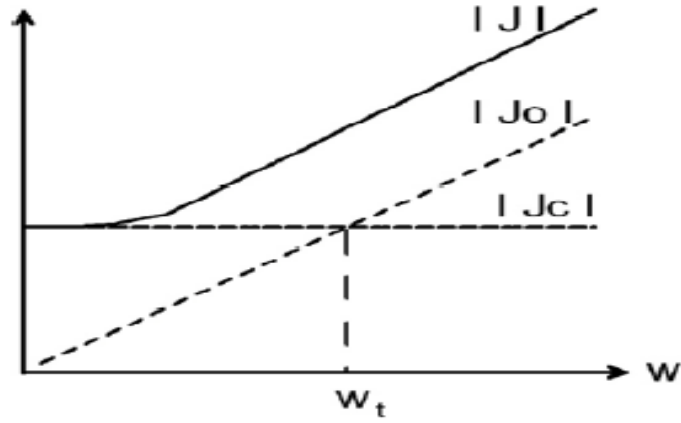
Doğadaki herhangi bir malzemeye uygulanan elektrik alan sonucu oluşan akım, iletim akımları ile yer değiştirme akımları bir toplamıdır.

$$J = J_c + J_D = \sigma E + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (25)$$

Sinüzoidal zaman değişimi söz konusu olduğunda;

$$J = (\sigma + i\omega\varepsilon)E \quad (26)$$

olarak verilir. Bu bağıntılardan yer değiştirme akımlarının ω açısal frekansla orantılı olduğu görülmektedir. Şekil 7'de açısal frekansın fonksiyonu olarak iletim, yer değiştirme ve toplam akım görülmektedir.



Şekil 7. İletim, yer değiştirme ve toplam akımın frekansla değişimi
(Annan, 2001).

Yer radarı için tanımlanan basit ortamlarda, elektrik iletkenlik ve dielektrik geçirgenliğinin sabit, yer değiştirme ve iletim akımlarının eşit olduğu bir geçiş frekansı (ω_t) vardır. Genelde ortamlarda, yer değiştirme akımları iletim akımlarının bir miktar üzerinde olma eğilimindedir. Geçiş frekansı değerinin üzerinde yer değiştirme akımları baskın iken, bu frekans değerinin altında iletim akımları baskındır. Bu durum, elektromanyetik dalga yayılımı konusunda dikkate alınması gereken bir konudur (Annan, 2001).

ω_t açısal frekansında iletim ve yer değiştirme akımlarının birbirlerine eşit ($J_c = J_d$) olduğu ve bu frekansın altında iletim akımları, bu frekansın üzerinde ise yer değiştirme akımlarının baskın olduğu görülmektedir.

Malzeme veya yer içindeki dalga yayılımında bu sınır (ω_t) oldukça önemlidir. Geçiş frekansı (27) bağıntısından, geçiş frekansının açısal frekans olarak ifadesi (28) bağıntısından elde edilir.

$$f_t = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon} \quad (27)$$

$$\omega_t = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (28)$$

Ortamdaki elektromanyetik dalganın güç kaybının (sönümün) büyüklüğü aşağıdaki formülle elde edilir.

$$\tan \delta = \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \quad (29)$$

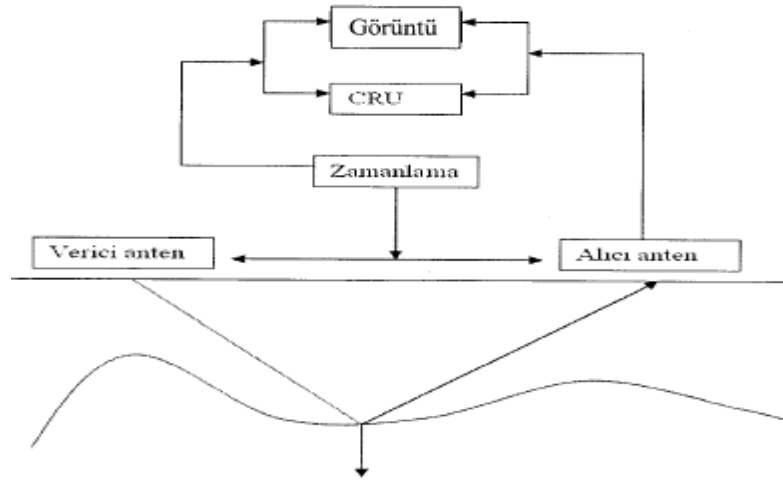
Burada $\tan \delta$, kayıp tanjant, δ , kayıp açısı olarak isimlendirilir. Kayıp tanjant değeri iletkenlikle doğru orantılı, frekans ile ters orantılıdır. Bir ortam için $\sigma \gg \omega \epsilon$ ise iyi iletken, $\omega \epsilon \gg \sigma$ ise iyi yalıtkan veya dirençli deyimini kullanılabilir. Kayıp oranı az yani $\tan \delta \ll 1$ olan ortamlarda dalga hızı

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (30)$$

değerine yaklaşır. Burada v tabakanın elektromanyetik dalga hızı, c ışık hızı ve ϵ_r bağıl dielektrik geçirgenlik değeridir.

1.5.1.1.7. Yer Radarı Sinyali Ölçümü

Sistemde verici antenini içine alan elektronik bileşeni çok kısa bir süre yüksek voltajda bir sinyal üretir. Verici anten bu sinyalin yer içinde yayılmasını sağlar. Yer içinden yansımış veya saçılmış sinyal anten aracılığı ile alıcı elektroniğine ulaştırılır. Amaç zamanın bir fonksiyonu olarak gelen sinyalin genliğini ölçmektir. Kayıt ünitesi gelen sinyali kaydeder. Görüntü ünitesi her bir kayıt noktasında elde edilen sinyalin kayıt ekranında görüntülenmesini sağlar (Şekil 8).



Şekil 8. Yer radarı sisteminin ana bileşenlerinin blok diyagram şeklinde gösterimi (Annan, 1992).

1.5.1.1.8. Yer Radarı Yöntemini Etkileyen Faktörler

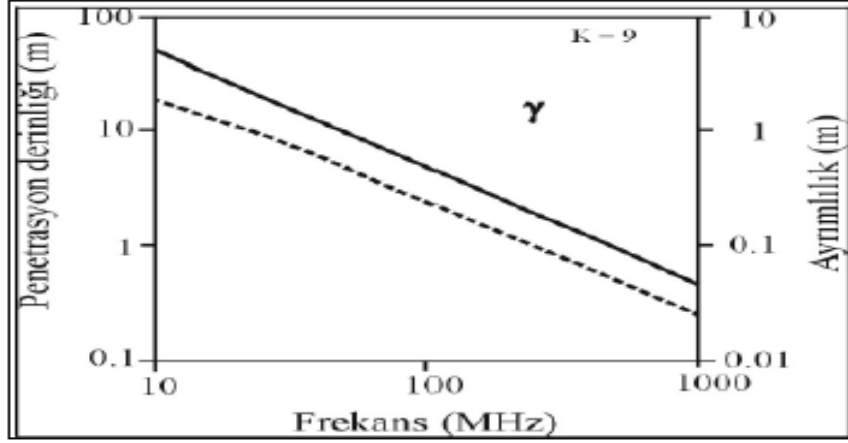
1.5.1.1.8.1. Merkez Frekansı ve Band Genişliği

Yer radarı ölçümlerinde merkez frekansı önemli bir parametredir. Merkez frekansı ne kadar düşük olursa sinyal o kadar fazla derine nüfuz eder. Tablo 2’de yer radarı parametreleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Tablo 2. GPR parametreleri (dielektrik sabit, elektrik iletkenliği ve anten frekansı) arasındaki ilişki (Takahaski, 2004).

GPR Parametreleri	Dielektrik Sabit		Elektrik İletkenlik		Anten Frekansı	
	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Yayıma Hızı	Yüksek	Düşük				
Penetrasyon	Kısa	Uzun	Uzun	Kısa	Uzun	Kısa
Dalga Boyu	Uzun	Kısa			Uzun	Kısa
Çözünürlük	Düşük	Yüksek			Düşük	Yüksek

Frekans ile ayırım arasında doğru orantı; frekans ile derinlik arasında ters orantı vardır. Şekil 9 da frekans, ayırlılık ve penetrasyon derinliği arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 9. Frekans, ayırlılık ve derinlik arasındaki ilişki (Last ve Smol, 2001).

Sistemin band genişliği sistemin minimum cevap zamanını tanımlar. Frekans ortamında düşük band genişliği zaman ortamında merkez frekansı ile karakterize edilen geniş bir dalgacığını tanımlar. GPR sinyallerinin sönümü band genişliğinin merkez frekansa oranıdır.

$$R = \frac{B}{f_c} \quad (31)$$

Bağıntıda R sönüm, B band genişliği ve f_c merkez frekansı ifade etmektedir. Tek tip dalgacık karakterini sağlaması için arzulanan $R=1$ 'dir.

1.5.1.1.8.2. Zaman Örnekleme Aralığının ve Kayıt Zamanının Belirlenmesi

Zaman örnekleme aralığı, bir iz üzerindeki noktalar arası zaman aralığıdır. Merkez frekansı büyüdükçe verinin toplanmasında daha küçük örnekleme aralığı seçilmelidir. Zaman örnekleme aralığı ile merkez frekansı arasındaki ilişki,

$$\Delta t = 1000 / (6xf_c) \quad (32)$$

şeklindedir. Burada Δt örnekleme aralığı, f_c merkez frekansı ifade etmektedir.

Maksimum kayıt zamanının doğru seçilmesi önemlidir. Gereğinden az seçilmesi durumunda hedef derinliğe ulaşmadan kayıt biter, gereğinden fazla seçilmesi durumunda veri hacmi artar ve gereksiz şekilde kayıt sistemi hafızası doldurulur. Buna göre maksimum kayıt zamanı, jeolojik çalışmalar için hız ortalama 0.1 m/ns alınırsa;

$$T = 1.3 \times (2xd) / V \quad (33)$$

olarak ampirik bir bağıntı ile hesaplanabilir (Annan, 2000). Burada d maksimum derinlik, V minimum hızdır.

1.5.1.1.8.3. Ölçüm Aralığının ve Antenler Arası Ayrım Aralığının Seçilmesi

Seçilen antenin ayrımlılık gücüne yani merkez frekansına uygun bir ölçüm aralığı belirlenmelidir. Bu aralık Nyquist örnekleme aralığını geçmemelidir. Bu da dalga boyunun dörtte biridir.

Antenler açık tip ve ayrı durumda iseler her bir merkez frekansı için antenler arası minimum aralık korunmalıdır. Minimum anten aralığı anten boyuna eşittir.

1.5.1.1.8.4. Yansıma ve İletim Katsayıları

Ara yüzeyde yansıyan ve iletilen enerjinin miktarı yansıma katsayısı (R) ve iletim katsayısı (T) ile ifade edilmektedir. İletim ve yansıma katsayıları ortamın dielektrik özelliklerine bağlı olmaktadır. Yansıma katsayısı, yansıyan dalga genliğinin gelen dalga genliğine oranıdır. İletim katsayısı da, iletilen dalga genliğinin gelen dalga genliğine oranı olarak tanımlanır. Bu iki katsayı ara yüzeyin üstünde ve altındaki ortamın/tabakanın dielektrik sabiti kullanılarak hesaplanmaktadır (Wilchek, 2000).

Eğer, ϵ_{r1} birinci tabakadaki permittivitesi, ϵ_{r2} 'de ikinci ortamın dielektrik permittivitesini gösterirse, iletim ve yansıma katsayıları aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (34)$$

$$T = \frac{2\sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (35)$$

Her iki katsayının toplamı bire eşittir:

$$T+R=1 \quad (36)$$

Yer altındaki hedefin başarılı bir şekilde belirlenmesi için, ortamların dielektrik sabitleri arasında önemli bir fark olmalıdır. Bu durumda yüksek yansımaya katsayısı ve geniş sinyal genliği elde edilir. Milson, (1996) 'a göre yapılan çalışmalar sonucunda, yansımaya katsayısının 0.01' den daha büyük olması tavsiye edilmektedir (Wilchek, 2000).

1.5.1.1.8.5. Ayrırlılık

Ayrırlılık, bir radar sisteminin yeraltında birbirine yakın olan iki yer altı yapısını ayırt edebilme yeteneği olarak ifade edilebilir. Ayrırlılık düşey ve yatay ayrırlılık olmak üzere iki şekilde ifade edilmektedir.

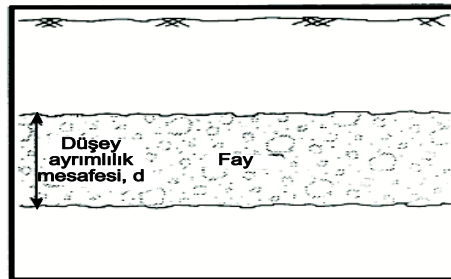
1.5.1.1.8.5.1. Düşey Ayrırlılık

Düşey ayrırlılık; birbirine yakın iki yansıtıcının düşey olarak nasıl yer aldığını belirlenmesi ile ilgilidir ve farklı yansımaya olayları gözlenebilir (Şekil 10). Kaya yapıları için düşey ayrırlılık yapısal özelliklerin en alt kısımlarının bireysel olarak tanımlanmasındaki minimum kalınlığı ifade etmektedir (Wilchek, 2000).

Düşey ayrırlılık dalga boyuna bağlıdır. Baskın dalga boyu,

$$\lambda = \frac{v}{f_c} = \frac{c}{f_c \sqrt{\epsilon_r}} \quad (37)$$

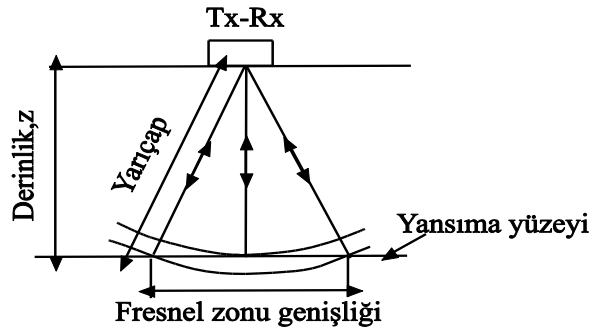
olarak verilir.



Şekil 10. Düşey ayrırlılık (Wilchek, 2000).

1.5.1.1.8.5.2. Yanal Ayrımlılık

Yanal ayrımlılık yeraltında yatay olarak birbirine yakın iki hedefin yerinin belirlenmesi olarak tanımlanır. Yanal ayrımlılık düşey ayrımlılık ile karşılaştırıldığı zaman değerlendirilmesi daha karmaşık olan bir olaydır. Çünkü, yanal ayrımlılık Fresnel zonu ile kontrol edilmektedir (Şekil 11) (Wilchek, 2000). Küresel dalga cephesi bir ara yüzeye çarptığında yüzey üzerinde küresel dalga cephesinin çapı ile doğru orantılı olan bir dairesel alandan yansır. Bu dairesel alan Fresnel zonu olarak adlandırılır.

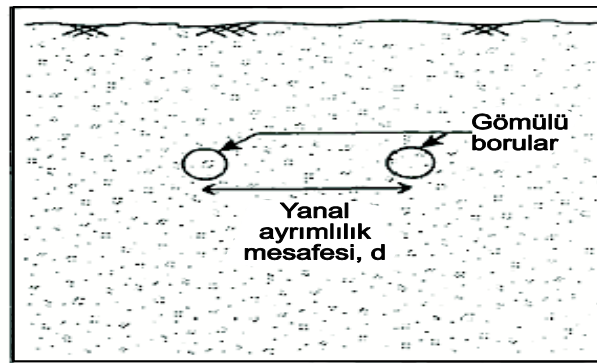


Şekil 11. Fresnel zonu (Wilchek, 2000).

Yer radarı enerjisi yer altında ara yüzeye rastladığı zaman, yansımaları Fresnel zonu olarak tanımlanan ara yüzeyin bir kısmından gelmektedir. Bu zonun dışında kalan enerji yok olmakta ve kaybolmaktadır. Bu alanın yarıçapı,

$$r = \sqrt{z\lambda} \quad (38)$$

olarak verilmektedir. Holloway ve Mugford, (1990)'a göre, λ baskın dalga boyunu ve z antenin merkezinden itibaren hedefe olan en yakın uzaklık olarak tanımlanmaktadır (Wilchek, 2000). Şekil 12'de yanal ayrımlılık mesafesi gösterilmiştir.



Şekil 12. Yanal ayrımlılık (Wilchek, 2000).

1.5.1.1.8.6. Penetrasyon Derinliği

Radar yansımalarını oluşturan ara yzeylerin sayısı ve her ara yzeydeki dielektrik farklılık; yer içinde seyahat eden sinyalin sönümlenme oranı ve kullanılan antenin merkez frekansı ile yer radarının yeraltını görüntüleyebilme yeteneğinin yanı sıra, yer içinde ilerleyen radar dalgalarının penetrasyon derinliğini de etkiler. Radar dalgaları her bir arayzeye ulaştığında, dalgaların bir kısmı yzeye geri dönerken, geri kalan kısım daha derindeki katman ya da katmanların ilerine doğru ilerlemeye devam edebilir. Ara yzeylerin sayısı arttıça, derinlere doğru yayılım gösteren enerji miktarında azalma meydana gelir. Özellikle çökel tabakalardaki dielektrik farklılıklar, karmaşık yansımalar oluşturulabilir. İlgilenilen yansımalar bu karmaşık yapı nedeniyle maskelenebilir ve bunun sonucunda araştırma derinliği azalabilir (Moorman, 2001).

Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği arttığında, enerji çok hızlı şekilde sönümlenir ve bu nedenle elektromanyetik enerjinin penetrasyon derinliği azalır. Bu yzden, yer radarı sinyalinin içerisinden geçtiği maddenin iletkenliği sinyalin nüfuz edeceği derinlik üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Moorman, 2001).

Kullanılan antenin frekansı, penetrasyon derinliğini etkileyen bir diğer önemli faktördür. Daha düşük merkez-frekanslı antenler daha uzun dalga boylu sinyaller üretir. Bunun sonucu olarak iletkenlik kayıpları ve ortamda bulunan küçük boyutlu yapılardan kaynaklanan saçılmanın azalması nedeniyle, daha az sönümlenme gerçekleşir ve dolayısıyla, radar dalgaları yerin daha derin kısımlarına ulaşabilir. Ancak düşük frekanslı dalga boyları kullanmanın en büyük dezavantajları, yeraltındaki küçük nesnelere belirlenememesi ve ince tabaka kalınlıklarının ölçülememesinin yanı sıra, çalışılan anten boyutlarının artmasıdır. Bu durum, yeraltının çözünlüğünü azaltır ve alanda pratik şekilde çalışmayı zorlaştırır (Conyers ve Goodman, 1997).

Çözünlüğü istenen derinlik d ve ortamın sahip olduğu dielektrik değer ϵ ise, ölçümlerin yapılması için uygun frekans;

$$f = \frac{150}{d\sqrt{\epsilon}} \quad (\text{MHz}) \quad (39)$$

ile bulunur. Eğer sabit ölçüm aralıklı profillerde iki ölçüm arası uzaklık, dalga boyunun $1/4$ 'ünden büyük ise kuramsal olarak araştırmak istenen hedefler belirlenemez. Bu koşul yaklaşık olarak

$$D_x = \frac{75}{f\sqrt{\varepsilon}} \quad (\text{m}) \quad (40)$$

formülü ile verilebilir (Griffin ve Pipet 2002). Diğer bir yaklaşımla her iki işlemde D_x in en fazla araştırma derinliğinin 1/8 i kadar veya daha az olması gerektiği görülebilir. Anten dizilimleri genelde yanyana olarak yapılmasına rağmen uygulamada uç uca konularak da kullanılmaktadır. Jeolojik uzanımın bilinmesi durumlarında antenler yapıya paralel olarak tutulmalıdır. Uygulamalarda anten aralığı (D_{anten}) araştırma derinliğinin 1/5'i veya daha küçük alındığında iyi sonuç verdiği görülmüştür. Derinliğe bağlı olarak amprik bağıntı ise

$$D_{\text{anten}} = \frac{2 * \text{derinlik}}{\sqrt{\varepsilon - 1}} \quad (\text{m}) \quad (41)$$

formülü ile verilir (Griffin ve Pipet 2002).

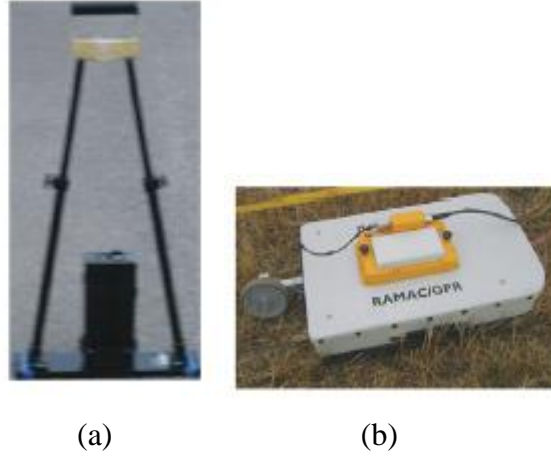
1.5.1.1.8.7 Anten ve Profil Ölçüm Aralığının Seçimi

Hedefin ve ortamın özellikleri, araştırma derinliği ve araştırılan hedefin boyutu dikkate alınarak uygun merkez frekanslı antenin ve tipinin seçimi yapılmalıdır.

1.5.1.1.8.7.1 Antenler

Antenler elektromanyetik alanları oluşturur ve tespit eder. Antenler açık ve kapalı şeklinde sınıflandırılabilirler. Açık antenlerde verici ve alıcı ayrı ayrı hareket ettirilir ve herbirinin elektronik ünitesi ayrı olup üzerlerine monte edilir. Alıcı ve verici arası mesafe değiştirilebilir ve farklı ölçü alma tekniklerine uygundur. Dezavantajı ise hava yoluyla antene ulaşan çevre etkisini içermektedir.

Kapalı antenler özel koruyucu içindedir. Birbirleri ile olan mesafesi frekanslarına göre ayarlanmış ve sabittir. Çevre etkileri kutu aracılığı ile soğurmakta ve sinyali etkilemesine izin vermemektedir. Hızlı veri toplanmaktadır. Ancak alıcı verici arası mesafe sabit olmasından dolayı mesafe değiştirilememektedir. Şekil 13'de açık ve kapalı anten tipleri gösterilmiştir.



Şekil 13. Anten tipleri a) Açık anten b) Kapalı anten

1.5.1.1.8.7.2 Anten Seçimi

Anten seçiminde hedefin ve ortamın özellikleri, araştırma derinliği ve hedefin boyutu dikkate alınarak uygun merkez frekanslı antenin ve anten tipinin seçimi yapılmalıdır. Tablo 3’de derinliğe bağlı örnek frekans seçimleri ve düşey ayrırlılıkları gösterilmiştir.

Tablo 3. Derinliğe bağlı örnek frekans seçimleri (Kadioğlu, 2004).

Merkez Frekans (MHz)	Düşey Ayrırlılık (m)	Maksimum Penetrasyon (m)
25	1	50
50	0.5	40
100	0.25	25
200	0.125	12
500	0.05	6
800	0.03	2.5
1000	0.025	1.5
1600	0.0125	1

1.5.1.1.9 Veri Toplama

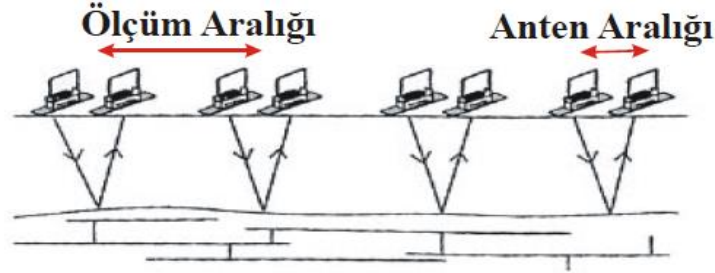
Bu tez kapsamında yüksek frekanslı radar verileri toplanacaktır. Kullanılan cihaz üzerinde alıcı ile verici sabit ve çok yakın konumdadır. Bu kısımda radar verilerinin sahada toplanması bahsine kısaca değinilecektir.

1.5.1.1.9.1. Profil Yönünün ve Profil Aralıklarının Seçimi

Hedefin uzun eksenini biliniyorsa, profil yönü dik eksen yönü boyunca olmalı, yön bilinmiyorsa deneme profilleri yardımı ile profil yönü belirlenmelidir. Üç boyutlu yer radarı çalışmalarında başlangıç noktaları ve bitiş noktaları aynı olan, örnekleme kuramına göre düzenlenmiş paralel profiller ile ölçüm alanı taramalıdır.

1.5.1.1.9.2. Sabit Anten Profili

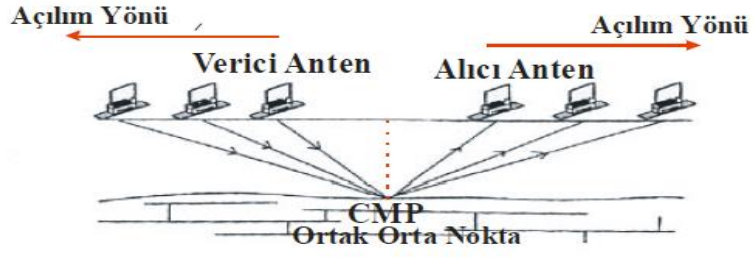
Veri toplamada en çok kullanılan ölçüm tipidir. Antenler arası sabit kalacak şekilde bir profil boyunca sabit ölçüm noktaları üzerinde verici anten ile sinyal yollar ve alıcı anten ile yerin cevabı kaydedilir (Şekil 14).



Şekil 14. Sabit anten profili

1.5.1.1.9.3. Ortak Orta Nokta Profili

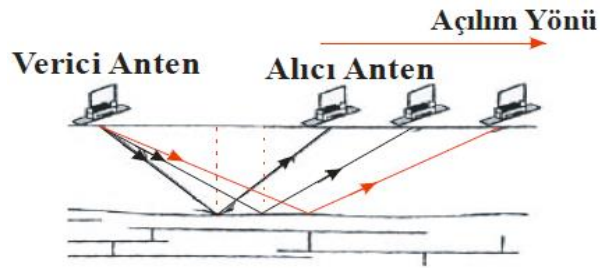
Daha çok ortamın elektromanyetik dalga yayılım hızını belirlemek için kullanılır. Antenler ölçüm noktası ortada kalacak şekilde eşit aralıklarla açılarak ölçüm alınır (Şekil 15).



Şekil 15. Ortak orta nokta profili

1.5.1.1.9.4. Geniş Açı Yansıma Profili

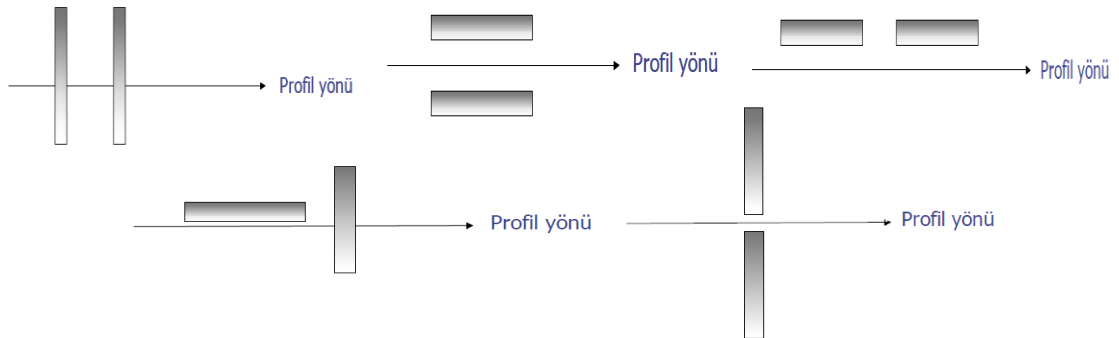
Verici anten sabit tutularak alıcı anten açılır. Daha çok elektromanyetik dalga hızının belirlenmesinde ve sismik yansıma veri-işlem aşamaları uygulanmak istendiğinde kullanılır (Şekil 16).



Şekil 16. Geniş açı yansıma profili

1.5.1.1.9.5. Anten Dizilimleri

Verici ve alıcı antenlerin hatlara göre konumlarını, jeolojik yapı ve topoğrafya etkilemektedir. Profil yönüne göre anten dizilimleri Şekil 17'de gösterilmiştir. Kapalı antenlerde antenler birbirine paraleldir.



Şekil 17. Anten dizilimleri

1.5.1.1.10 Yer Radarı Verilerinin İşlenmesi

Ham verilerden yorum yapmak zordur. Bu yüzden ham veriler yoruma hazır hale getirilinceye kadar bazı veri işlem aşamalarından geçirilmektedir. Genel olarak kullanılan temel veri işlem adımları; Dewow, Genlik Kazancı ve Background Removal'ı içermektedir.

1.5.1.1.10.1. Dewow

Yer radarı verilerinde görülen çok düşük frekanslı gürültüler gerçek olayları örtmektedir. Buna 'wow' etkisi denir. Bu etkiyi gidermek amacıyla yapılan süzgeçlemeye "dewow" adı verilir. 'wow' etkisine, kaydedilen sinyalde ilk gelenlerin neden olduğu aşırılaşma ve doygunluk etkileri neden olmaktadır ve sinyalden DC etkisinin atılmasını gerektirir. Ayrıca daha etkin düzeltme için alçak-geçişli ve medyan süzgeçlemesi de kullanılabilir (Gerlitz ve diğ., 1993 ; Fisher ve diğ., 1994). Dewow veriyi ortalama-sıfır seviyesine indirgemede önemli bir adımdır ve bu yüzden, kayıt edilmiş izlerde kullanılmak üzere pozitif-negatif renk dolgusuna izin vermektedir. Bu işlem yanlış uygulandığında veri, tüm izin spektrumunu bozan azalan alçak-frekans bileşenine sahip olacaktır. Bu da sonraki spektral veri işleme süreçlerini örneğin kesitin doğal görünümünü etkileyebilir (Gerlitz ve diğ., 1993).

1.5.1.1.10.2. Genlik Kazanç

Radar verisi zamanla çok hızlı sönümlendiği için derinlerden gelen genlik bilgisi yüzeye yakın bölgelere göre daha zayıf olmaktadır. Bu olumsuzluğu gidermek amacıyla veriye genlik kazanç düzeltilmesi uygulanır.

1.5.1.1.10.3. Background Removal

Ringin etkisi, GPR verilerinde uyumlu gürültünün genel tiplerindedir. Bu tarz uyumlu gürültü kuvvetli ise ve uygunca atılmamış ise, derin yapılar tamamen örtülebilir. Ringin, hemen hemen yanal ve periyodik olaylar olarak görülür ki buda veri işlem ile gürültünün atılmasına olanak sağlayan en önemli özelliklerdir. GPR verisi şiddetli ringin gürültüsüne maruz kaldığında, araştırma derinliği daha da sığlaşır çünkü kuvvetli ringin derinden gelen zayıf yansımaları maskeleymektedir. Bu işlem yüksek geçişli süzgeçler kullanılarak yapılmaktadır (Wilchek, 2000).

1.5.1.1.11. Çalışmada Kullanılan Yer Radarı Alet ve Ekipmanları

1.5.1.1.11.1. Çalışmada Kullanılan Yer Radarı Aleti Kısımları

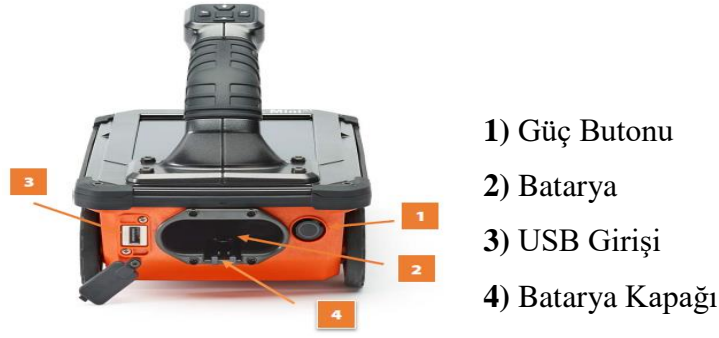
Çalışma kapsamında GSSI'nın beton muayenesi için ürettiği en son cihaz olan StructureScan Mini XT kullanılmıştır. Aletin merkez frekansı 2.7 GHz'dir. Aletin genel görünüşü Şekil 18 ve Şekil 19'da belirtilmiştir. Araştırma derinliği seçenekleri 10, 20, 30, 40 ve 50 cm'dir. Hedef derinlikten biraz daha fazla seçilmesi önerilmektedir.



- 1) Tutma yeri ve kontrol birimi
- 2) Renkli görüntü ekranı ve arayüz
- 3) Tekerlekler
- 4) Konumlandırılmış lazer bölgesi
- 5) Ek cihazların eklendiği nokta

Şekil 18. StructureScan Mini XT yandan görünüş (GSSI StructureScan Mini XT Manual, 2016).

Şekil 18'de görülen 1. kısım aletin hareket ettirildiği kontrol birimidir. 2. kısım aletin ekran kısmıdır. Aletin genel ayarlarının, ölçüm türlerinin ve ölçüm esnasında ölçüm sonuçlarının gösterildiği yerdir. 3.kısım aletin hareketini sağlayan tekerler kısmıdır. 4. kısım lazer bölgesidir. Aletin önünde, sağında ve solunda lazerler bulunmaktadır. Sağında ve solunda bulunan lazerler ölçüm noktasına yatay yönde, önündeki lazer ise düşey yönde bulunmaktadır. Ölçüm noktası lazer ışıklarının kesiştiği noktadır. 5. kısım ek cihazların eklendiği noktadır.



Şekil 19. StructureScan Mini XT arkadan görünüş (GSSI StructureScan Mini XT Manual, 2016).

Şekil 19’da görülen 1. kısım aletin açılıp, kapatılmasını sağlayan güç butonudur. 2. kısım aletin bataryasının takılıp, çıkartıldığı kısımdır. 3. kısım aletin USB giriş kısmıdır. Ölçüm sonucu toplanan veriler bu kısımdan USB belleğe taşınır. 4.kısım ise bataryanın kapağıdır, bataryanın çıkarılıp takılmasında kullanılır.

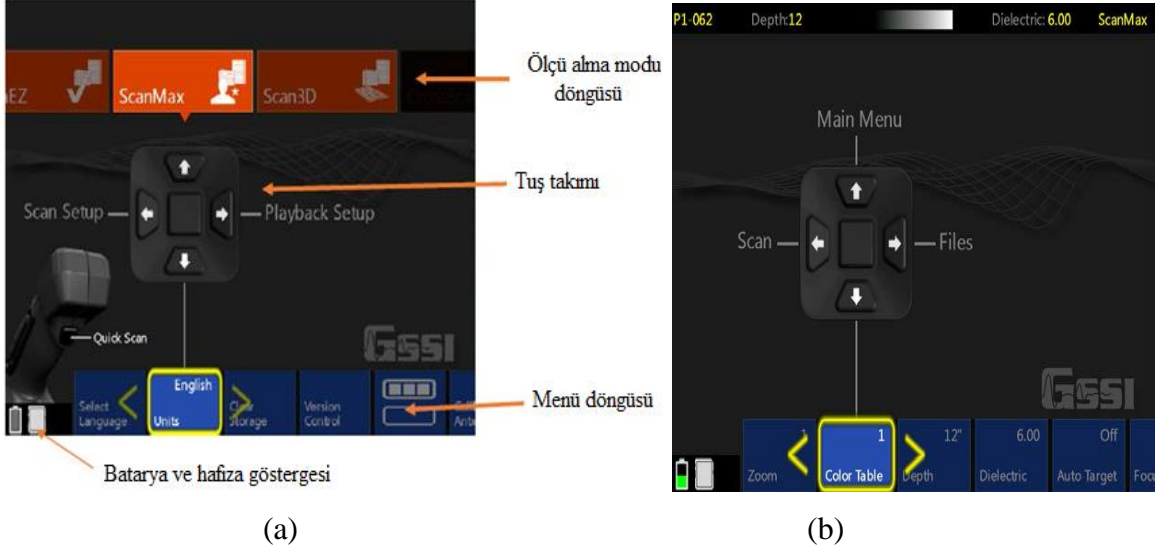
1.5.1.1.11.2. Çalışmada Kullanılan Yer Radarı Aleti İle Ölçü Alımı

Aletin ana menüsü Şekil 20’de gösterilmiştir. Alette 3 farklı ölçü alma seçeneği vardır. Bunlar ScanEZ, ScanMax ve Scan3D ’dir. Çalışma kapsamında ScanMax modu kullanarak 2B’lu ölçümler, Scan3D modu kullanarak 3B’lu ölçümler yapılmıştır.

ScanMax modu 2B’lu veri toplama modudur. Veri toplama parametrelerinin, kazanç ve filtrelemenin kontrol edilmesi bu modun ScanEZ modundan daha kullanışlı olmasını sağlamaktadır. Öncelikle Şekil 20’de gösterilen ana menü kısmından bazı ayarların yapılması gereklidir. Verinin depo edildiği dosya seçilir. Her cm’de taramanın sayısı ayarlanır (Normal=10/in/(4/cm) ve Yüksek=20/in(8/cm)). İstenen dil seçimi yapılır. Metrik ve İngiliz birim seçeneklerinden biri seçilerek birim seçimi yapılır. Anten kalibrasyonu yapılır. Daha sonra ekran parlaklığı, veri kaydetme ayarları, öndeki ve yandaki lazerlerin açılıp kapatılması, ses ayarları, belli süre sonra uyku moduna geçilmesinin açılıp, kapatılması, tarih ve saat ayarları ile ekran temasının seçilmesi ayarları yapılır. Bu seçimlerden sonra ScanMax modunun Şekil 20’de gösterilen veri toplama parametreleri giriş menüsünden veri toplama parametreleri ayarlanır. Bunlar verinin rengi, yatay gürültü bantlarının veriden filtre edilmesini sağlayan kısmının (Band filter) açılması, betonun beklenen dielektrik sabitinin seçimi, otomatik hedef yeri seçimi algoritmasının açılması ya da kapatılması ve ham verinin alt kısımda işlenmiş verinin üst kısımda görüntülenmesini

sağlayan focus seçeneğininin açılması ya da kapatılması seçenekleridir. Menüler Şekil 20’de gösterilmiştir.

Ana menü ekranı

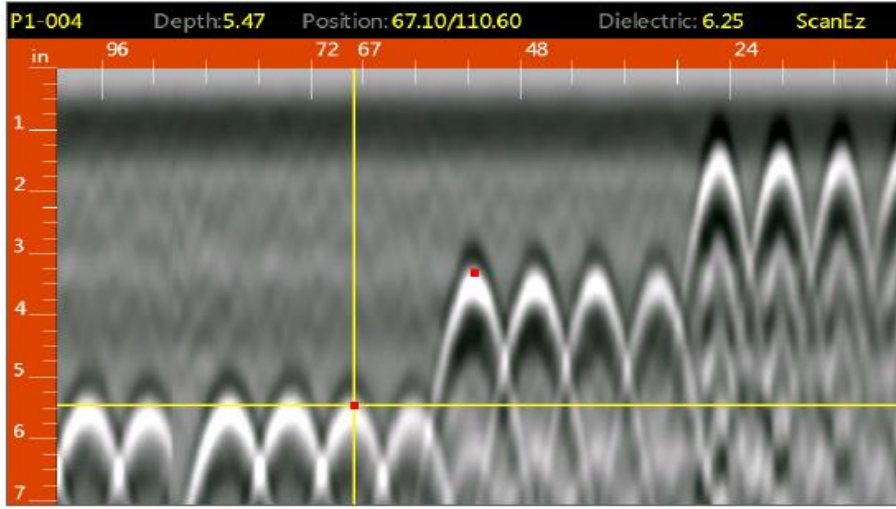


Şekil 20. Menüleri a) ana menü b) ScanMax veri toplama parametreleri giriş menüsü (GSSI StructureScan Mini XT Manual, 2016).

2B’lu ölçüm yapılması Şekil 21’de gösterilmiştir. Ayrıca herhangi bir 2B’lu ölçümde ekran görüntüsü Şekil 22’de gösterilmiştir.



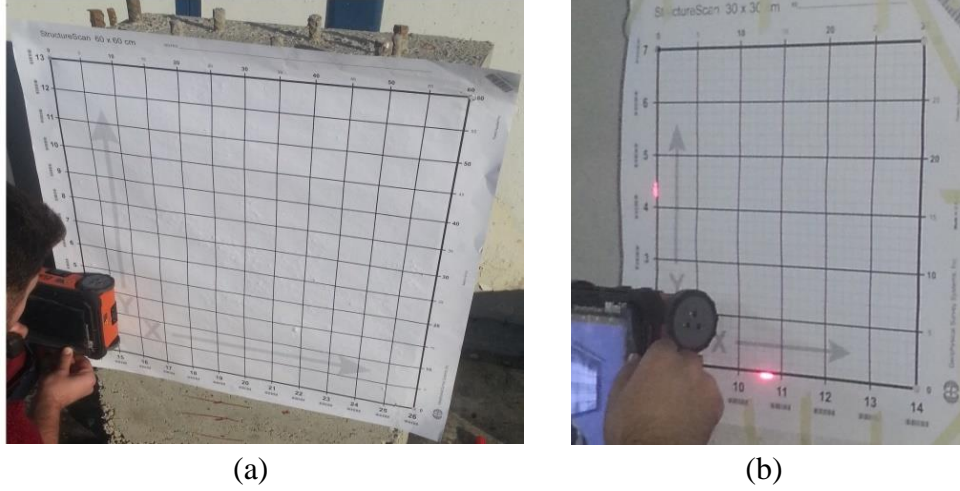
Şekil 21. 2B’lu ölçüm yapılması



Şekil 22. Herhangi bir 2B ölçüm anında aletin ekran görüntüsü (GSSI, Complete GPR Systems for Concrete Inspection StructureScan Mini XT, 2016).

3 boyutlu ölçüm yapmak için Şekil 20’de gösterilen ana menü ekranından Scan3D seçilir. Öncelikle ScanMax modunda anlatılan ana menü ekranındaki ayarlar yapılmalıdır. Daha sonra Scan3D modunun veri toplama parametreleri giriş menüsünden ayarlanır. Grid boyutu seçilir. 3 çeşit grid boyutu vardır. Bunlar 30x30cm, 60x60cm ve 60x120cm’dir. Gridlerde profil aralıkları 5 cm’dir. Çalışmalarda 30x30cm ve 60x60cm gridler kullanılmıştır (Şekil 23). Dielektrik sabiti seçilir, maksimum araştırma derinliği ve ölçüm sırasında ekranın görüntüsü seçilir. Gürültü bantlarının veriden filtre edilmesini sağlayan kısım (Band filter) açılır. İstenen renk paleti seçilir.

Ölçüm parametreleri girildikten sonra ölçüm alınmaya başlanır. Kolaylık için ölçüm yapılacak kısma grid kağıdı yerleştirilip, sabitlenir. Alet X doğrultusunda (yatay) 1. hat üzerine getirilir. Kayıt başlatma için başlatma tuşuna basılır ve hat üzerinde ilerlenir. Ölçüm alınırken aletin kenarlarındaki 2 kırmızı nokta ve önündeki 1 kırmızı noktanın profil çizgilerine gelmesine dikkat edilmelidir. Ölçüm alınan kısım bu üç noktanın kesişim noktasıdır. Hat sonuna gelince aletten ses duyulacaktır. Bu o hattın ölçümünün bittiğini gösterir. Daha sonra 2. hatta geçilir. Aynı şekilde yatay ölçümler alınır. Aletle Y doğrultusunda (düşey) aynı X doğrultusundaki (yatay) gibi ilerlenir. Bütün hatlar bitirilince veriler kaydedilir. Hata olduğu düşünülen hatlarda tekrar ölçümler alınabilir. Ölçümler alındıktan sonra veriler USB belleğe kaydedilir ve bilgisayar ortamına taşınır. Ölçüm alımı ve kullanılan gridler Şekil 23’te görülmektedir. Ölçüm sonuçlarının 3 boyutlu görüntüsüne örnek Şekil 24’te gösterilmiştir.



Şekil 23. Ölçü alımı a) 60x60cm grid b) 30x30 cm grid

Çalışma kapsamında araştırma derinliği 30, 40 ve 50 cm seçilerek ölçümler yapılmıştır. Ayrıca ölçümlerde dielektrik sabiti 7.44 ve 9 olarak seçilmiştir.

Beton durumuna göre seçilecek dielektrik sabiti yaklaşık değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

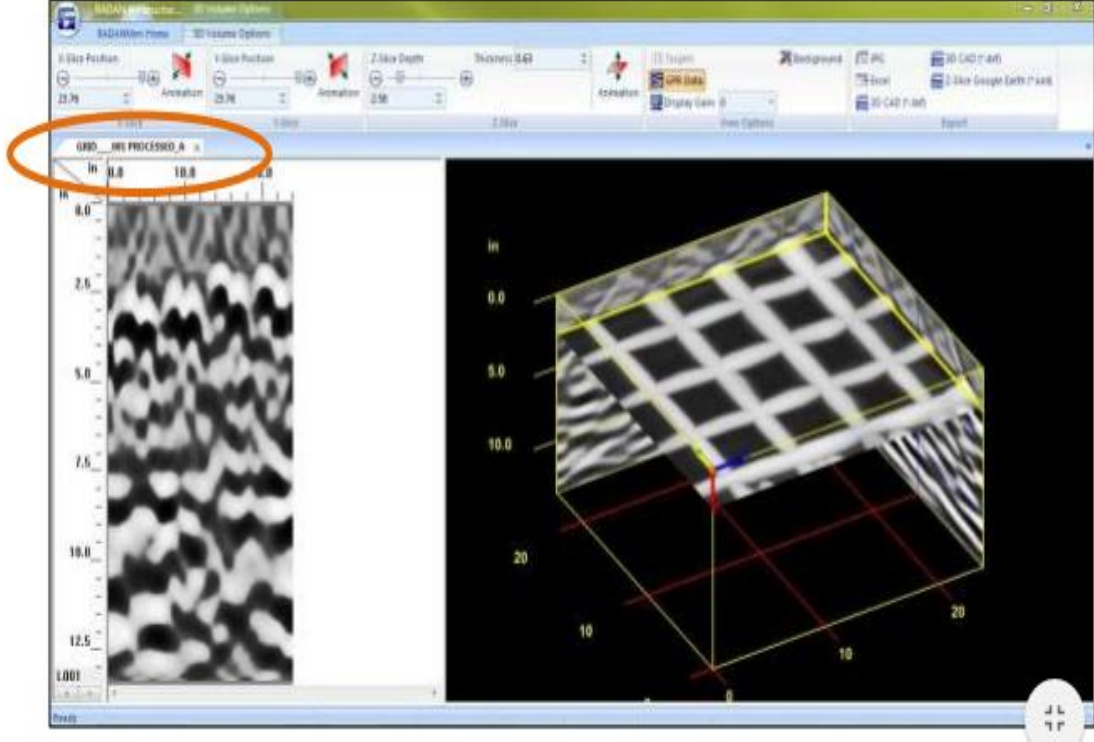
Tablo 4. Beton durumuna göre seçilecek dielektrik sabiti yaklaşık değerleri (GSSI Quick Start Guide).

Beton Tipi	Dielektrik Sabiti	Beton Yaşı	Açıklama
Çok Kuru	4.59	5 yıl üstü	En kuru tabaka
Orta Derecede Kuru	6.25	En az 1 yıllık	Çoğu kuru tabaka
Nemli	7.44	3-12 aylık	
Daha Nemli	9	1-3 aylık	Sürekli su altında (Havuz- Su tankı)
Islak	14.06	1 aydan daha az	

1.5.1.1.11.3. Çalışma Kapsamında Kullanılan Yer Radarı Veri İşlem Yazılımı

Çalışma kapsamında alınan veriler bilgisayar ortamında RADAN7 yazılımıyla değerlendirilmiştir. RADAN yazılımı; StructureScan Mini Cihazı ile toplanan verinin görüntülenmesi, işlenmesi ve depolanması amacı için geliştirilmiştir. Program daha önceden proses edilmiş 2B veri profillerinin ve 3B derinlik kesitlerinin RADAN ile tekrar görüntülenmesini, renk skalasının değiştirilmesini ve görüntülenen verinin *.jpg formatı ile kaydedilmesine imkan sağlamaktadır. Program otomatik olarak ham veriyi proses

etmektedir. Proses aşamasında Time Zero correction (Sıfır Kayma Zamanı Düzeltmesi), Filtering (Filtreleme) ve Focus (Migration-Göç) yapılmaktadır (Şekil 24).



Şekil 24. Radan yazılımı 3 boyutlu görüntü (GSSI RADAN7 for StructureScan Mini Manuel, 2015).

1.5.1.2. Ultrasonik Yöntem

1.5.1.2.1. Yöntemin Tanımı ve Çalışma Prensibi

Ultrason, insan kulağının işitemeyeceği kadar yüksek frekanslı ses dalgalarına verilen addır. Ultrasonik yöntem, numuneden ultrason dalgaları geçirerek kaydedilen yayılma sürelerinden dalga hızlarının elde edilmesi prensibine dayanır. Jeofizik mühendisliğinde yapılarda sismik ultrasonik yöntem ile P boyuna dalga hızı (m/s) ve S enine dalga hızı (m/s) elde edilir. Elde edilen hız değerleri ile beton çatlaklığı, gözenekliliği, nemliliği, homojenliği, elastik parametreleri ve poisson oranı belirlenerek betonun kalitesi ortaya konulur.

1.5.1.2.2. Yöntemin Tarihçesi

Beton teknolojisi uzmanları uzun yıllardır tahribatsız testler kullanarak beton özelliklerinin belirlenmesi ile ilgilenmişlerdir. 1930'ların başlarında laboratuvar test örneklerini kullanarak titreşim yöntemlerini önermişlerdir. Powers (1938), Obert (1939), Hornibrook (1939) ve Thomson (1940); rezonans frekansı yöntemini kullanarak titreşim teknikleri ile ilgili ilk çalışmaları yapmışlardır. II. Dünya Savaşı, gerilme dalgası yayılımını kullanarak tahribatsız testler ile ilgili araştırmaları ivmelendirmiştir. Titreşim (puls) hızı yönteminin gelişimi yaklaşık aynı zamanda Kanada'da ve İngiltere'de başlamıştır. Kanada'da Leslie ve Cheesman (1949) soniskop adını verdiği aleti ve İngiltere'de Jones (1948) ultrasonik tester adını verdiği aleti geliştirmişlerdir. Prensipite her iki alet (soniskop ve ultrasonik tester) oldukça benzer bir yapıda olup ayrıntıda küçük farklar barındırmaktaydı. 1960'lardan itibaren titreşim hızı yöntemleri laboratuvarlardan çıkarak inşaat şantiyelerine/alanlarına taşındı (Whitehurst, 1957). Malhotra (1976) yapmış olduğu derlemede konu üzerine çalışılmış makalelerin geniş bir listesini yayınlamıştır. Bu arada birçok ülke beton numunesi üzerinde titreşim hızını ölçmek için standartlaşmaya gitmiş ve prosedürler geliştirmiştir (Özçep ve diğ., 2012).

1.5.1.2.3. Ultrasonik Yöntemin Kullanıldığı Alanlar

Ultrasonik yöntem tıptan birçok mühendislik dalına kadar yaygın kullanılan bir test yöntemidir. Yöntem boy ve kalınlık ölçümleri, yüzey sertliği ölçümü, elastik katsayıların tayini, metalürjik yapının kontrolü (tane boyutu, yönlenme derecesi, mikroskobik hatalar), iç gerilmelerin tayini, beton kalitesinin tayini, mühendislik malzemelerinde süreksizliklerin kontrolü, tıpta iç organların muayenesi, uzaktan kumanda aletlerinin yapımı, ultrasonik kaynak yapımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Ultrasonik yöntem bina, köprü, yol, tünel ve daha birçok yapının denetiminde uygulanmaktadır. Temel, köprü ve yol incelemelerinde, beton niteliğini bulmada (kırılma, burkulma, esneme, sıkışma direnci), duvar içi çatlakları bulmada, kırıkları, boşlukları bulmada ve dinamik parametrelerin tespitinde kullanılmaktadır.

Ultrasonik titreşim (puls) hızı altmış yıldan fazladır ve beton kalitesini/niteliğini belirlemede kullanılmaktadır. Bu yöntem, içsel çatlakların ve diğer malzeme kusurlarının belirlenmesinde kullanıldığı gibi donma/çözülme ve agresif kimyasal çevre nedeniyle betondaki bozulmaların belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Titreşim hızı yöntemini

kullanarak beton test örneğinin mukavemetini kestirmek de ayrıca mümkündür. Titreşim hızı yöntemi tamamıyla tahribatsızdır ve bu teknik, test edilen beton elamanına hiçbir zarar vermeden mekanik dalgaları kullanmaktadır. Bir test örneği, aynı noktada tekrar test edilebilir. Ayrıca uzun bir zaman periyodu boyunca betonun içyapı değişimlerinin görüntülenmesinde de kullanılmaktadır (Özçep ve diğ., 2012).

1.5.1.2.4. Yöntemin Avantajları ve Dezavantajları

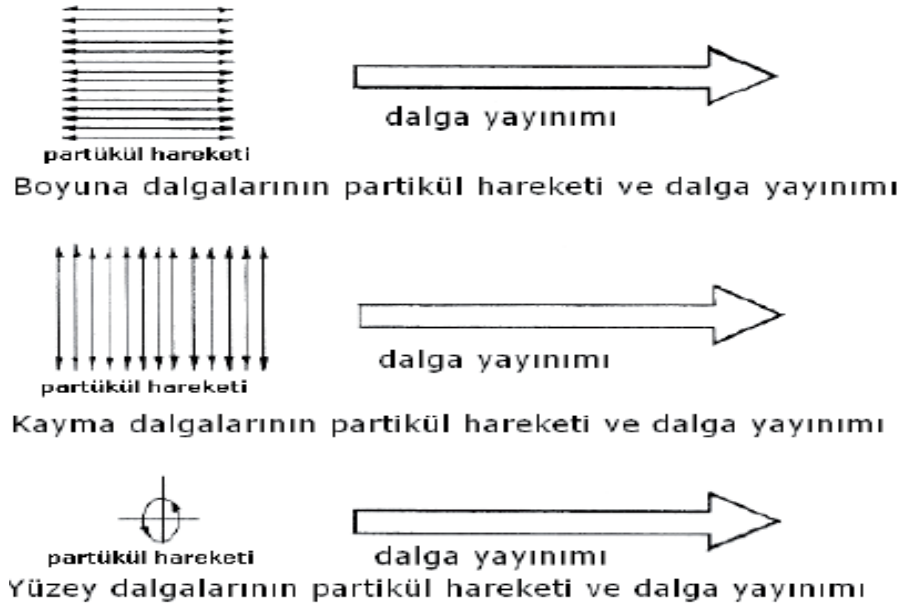
Yöntemin birçok avantajı vardır. Ultrasonik yöntemin uygulanması oldukça kolaydır. Yöntemin ekipmanı rahat kullanıma müsaittir ve kolayca temin edilebilir. Ultrasonik hız ölçümleri hem laboratuvarda numuneler üzerinde hem de sahada yapılar üzerinde uygulanabilir. Ölçümler kısa sürede tamamlanabilir. Yapı da herhangi bir tahribata neden olmaz. Ölçümler yapının tamamında uygulanabilir, sonuçlar bölgesel değildir, yapının tamamı hakkında bilgi alınabilir.

Yöntemin dezavantajları ise, öncelikle ölçümlerde uygun, düz yüzeyler gereklidir ve alıcı ile verici arasında iyi bağlantı sağlanmalıdır. Eğer sağlanamaz ise ölçümler hatalı ve yanıltıcı olabilir. Ölçüm yapılan bölgenin nem durumu dalga hızını etkiler. Ayrıca ölçüm noktalarının donatıların üzerine denk gelmesi dalga hızını etkiler. Sonuçlar analiz edilirken iyi yorumlama gerektirir.

1.5.1.2.5. Dalga Yayınımı

Katılarda ses dalgaları 4 temel modda yayınım gösterirler. Bunlar birincil dalgalar (sıkışma, boyuna, P dalgası), ikincil (kayma, enine, S dalgası) dalgalar, yüzey dalgaları (Rayleigh ve Love dalgaları) ve ince malzemelerde plaka dalgalarıdır (Lamb dalgaları). Ultrasonik hız testinde en yaygın olarak kullanılan dalga şekilleri cisim dalgaları olan P ve S dalgalarıdır.

P dalgalarında, tanecik hareketi yayınım doğrultusundadır, titreşim boyunadır. Katı, sıvı ve gaz ortamlarda ilerleyebilirler. Alıcıya ilk ulaşan dalgalarıdır. S dalgalarında, tanecik hareketi dalga hareket yönüne dik doğrultuda, titreşim eninedir. Sadece katı ortamlarda ilerler. Rayleigh dalgası bir göl veya okyanusun üzerinde yuvarlanan dalga salınımı gibi yer üzerinde hareket eder. Love dalgaları yüzey dalgalarının en hızlısı olup, yeri yatay düzlemde hareket ettirir (Şekil 25).



Şekil 25. Dalgaların partikül hareketleri ve dalga yayınımları (Mix, 2005).

Ultrasonik enerji, görece olarak ince plakaların içine girdiğinde, Lamb dalgaları ile yayınırlar. Lamb dalgaları çoklu ve değişken hızlara sahiptirler. Lamb dalgası hızı, malzeme kalınlığına ve frekansa bağlıdır. Lamb dalgası çeşitli partikül hareketi modlarına sahiptir. Ancak iki yaygın titreşim hareketi modu simetrik ve asimetrik olarak bilinir (Şekil 26) (Özçep ve diğ., 2012).

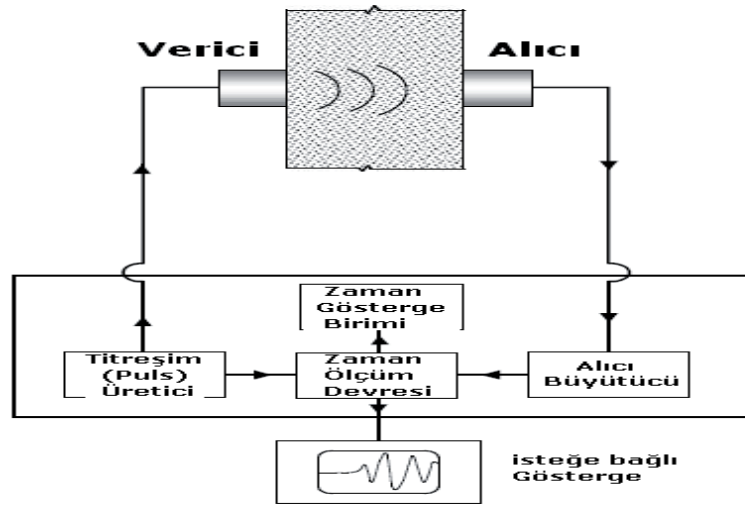


Şekil 26. Lamb dalgaları partikül hareketi (Mix, 2005).

1.5.1.2.6. Ultrasonik Yöntem Hız Ölçümü

Ultrasonik hız ölçüm ekipmanları; ultrasonik hız ölçüm cihazı, verici (T_x) ve alıcı (R_x) problemleri ile yüksek voltaj puls üreticiden oluşur. Vericiden çıkan dalgalar numune içerisinde hareket edip alıcıya ulaşır. Sismik dalga hızı T_x ve R_x arasındaki uzaklığın geçiş zamanı oranıdır. Burada, V dalga hızı (m/s), L dalga yolu (m) ve t dalganın geçiş zamanını (sn) göstermektedir. Şematik ölçü diyagramı Şekil 27’de gösterilmiştir.

$$V = L / t \quad (42)$$

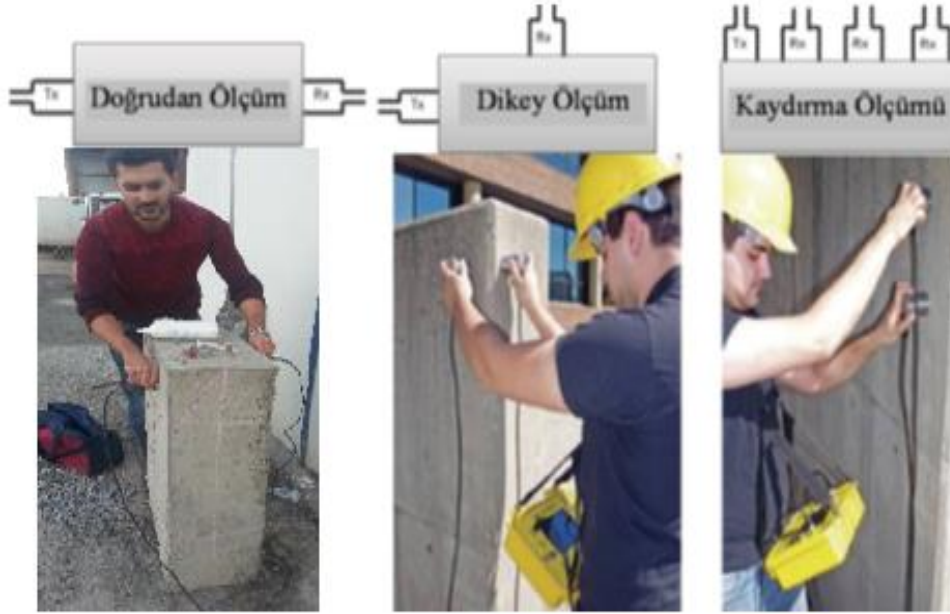


Şekil 27. Titreşim hızı test devresinin şematik diyagramı (Tarun ve diğ., 2004).

Yapılardaki betonların mekanik özelliklerini yerinde ve laboratuvarında belirleyebilmek için sismik ultrasonik yöntemde puls hızı tekniği kullanılmaktadır. Bu teknik elastik dalga yayılma teorisine dayanmaktadır. Laboratuvarında boyuna ve enine dalga hızlarını belirlemek için bu sismik elastik dalgaların numunenin içinden geçtiği süreler ölçülerek bilinen numune boyundan sismik dalgaların hızları belirlenebilir. Yerinde ise sismik hızlar alıcı verici arasındaki uzaklık ve elastik dalgaların geçtiği süreler ölçülerek belirlenir (Uyanık, 2012).

Sismik ultrasonik yöntem üç farklı ölçüm tekniği ile kolon ya da kirişlere uygulanabilir. Problemler karşılıklı birbirine bakıyorsa bu ölçüm tekniğine doğrudan, problemler yan yana sırasıyla ölçümler alınıyorsa kaydırma ölçü tekniği, problemler birbirine dik şekilde ölçüm alınıyorsa dikey ölçü tekniği adını alır (Şekil 28). Ultrasonik enerjinin hava boşluğu tarafından gecikmeye uğramasını engellemek için karot numunesi ile alıcı verici problemler

arasında iyi bir iletimin sağlanması gereklidir. İletimin tam olarak sağlanabilmesi için P dalgası ölçümlerinde gres yağı vb. iletimi artırıcı maddeler kullanılabilir. Fakat bu uygulama S dalgası ölçümlerinde kullanılmamalıdır (Uyanık ve diğ., 2012).



Şekil 28. Yapıda kullanılan sismik ultrasonik ölçüm teknikleri

Yapıda sismik ultrasonik ölçüm alınırken proplar betona temas etmiyorsa, sıva üzerinden sismik hız ölçümü yapılıyorsa ölçümlere bir düzeltme faktörü eklenmelidir. Bu durumda düzeltme faktörü hesaplanarak betonun gerçek hızı belirlenebilir (Uyanık ve diğ., 2012).

$$V_{po} = V_p / (1-e) \quad (43)$$

$$e = (S1+S2) \cdot [(V_p / V_{ps}) - 1] / h_o \quad (44)$$

Formüllerde kullanılan V_p , sıva ile birlikte ölçülen hız (m/sn), V_{po} , sıvasız, çıplak beton hızı (m/sn), V_{ps} , sıvanın ultrason hızı (1200 m/sn önerilir), h_o , elemanın sıvasız brüt kalınlığı, $S1$, $S2$, elemanın iki tarafındaki sıva kalınlıkları ve e , sıva kalınlığına bağlı hız düzeltme faktörüdür.

Ultrasonik cihazı ile ölçüme başlamadan önce cihazın kalibrasyonu yapılmalıdır. Ayrıca numune yüzeyinin pürüzsüz ve düzgün olması da ölçümü etkileyen önemli faktörlerden biridir.

Ultrasonik yöntem sonucu elde edilen V_p ve V_s hızlarına bağlı beton kalite sınıflama ilişkisi Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5. Basınç ve kayma dalga hızlarına bağlı beton kalite sınıflaması (Uyanık ve diğ., 2013).

Beton Kalitesi	Whitehurst, 1951	Uyanık vd.,2011	Uyanık vd., 2013	
	V_p (m/s)	V_p (m/s)	V_p (m/s)	V_s (m/s)
Çok iyi	>4500	>4565	>4400	>2200
İyi	3650-4500	3515-4565	3450-4400	1750-2200
Orta	3050-3650	2930-3515	2900-3450	1500-1750
Zayıf	2000-3050	2110-2930	2150-2900	1150-1500
Çok zayıf	<2000	<2110	<2150	<1150

1.5.1.2.7. Ultrasonik Puls Hızını Etkileyen Faktörler

Ultrasonik puls hızını etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir.

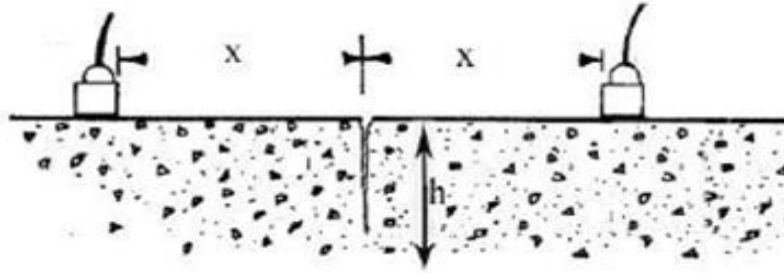
- Agrega boyutu, türü ve içeriği
- Çimento türü
- Su / Çimento oranı
- Beton katkı maddesi
- Betonun yaşı
- Betonun sıcaklığı, nemi ve kürlenme koşulları

Betonun özellikleri dışında verici kontaktı, donatı ve etriyelerin etkisi, sıva etkisi ve yüzeyin pürüzlü olması ölçümleri etkiler.

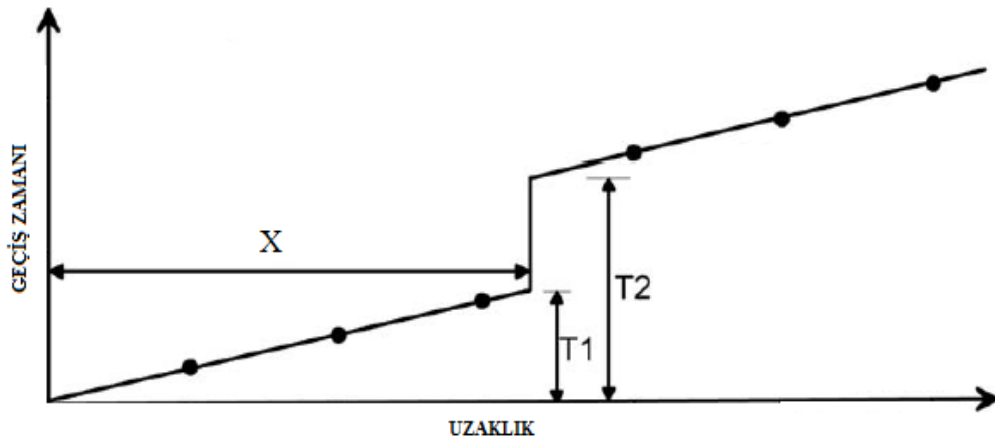
1.5.1.2.8. Ultrasonik Yöntem Kırık ve Çatlak İnceleme

Ultrasonik yöntem ile betonda kırık ve çatlak tespiti için verici prob sabit, alıcı prob hareketli olacak şekilde kaydırılarak ölçü alınır. Alıcı prob kırığın diğer tarafına geçtiğinde zaman gecikmesi meydana gelir. Dalganın geçiş zamanı (T) ve uzaklık (X) dikkate alınarak yol-zaman grafiği çizilir. Böylece beton üzerinde ultrasonik yöntem ile sismik kırılma metodu uygulanmış olur (Şekil 29). Verici ile alıcı problemler arasında betondaki kırık-çatlak uzaklık-zaman grafiğinde zamanda bir sıçrama ile kırık kendini gösterir (Şekil 30). Uzaklık - zaman grafiğinde kırık yerini belirledikten sonra kırığın derinliği (h) aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$h = X \sqrt{\frac{4T_1^2 - T_2^2}{T_2^2 - T_1^2}} \quad (45)$$



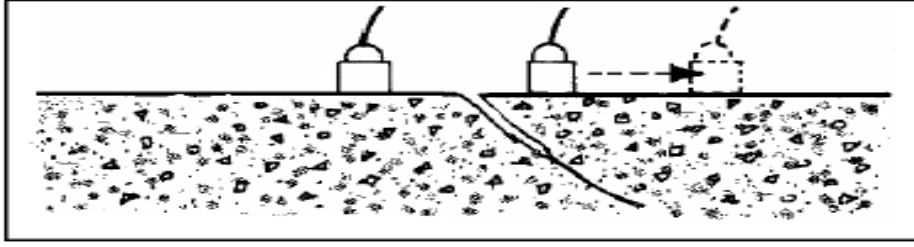
Şekil 29. Kırık tespiti için yapılan ultrasonik ölçüm düzeni (Keçeli, 2012).



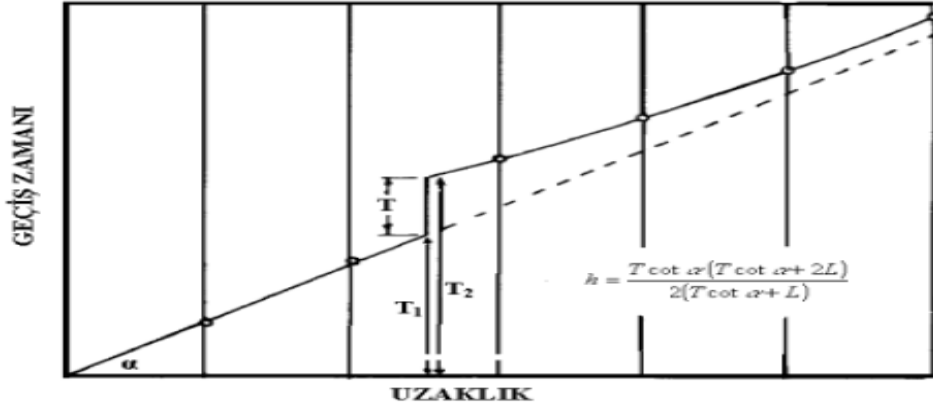
Şekil 30. Kırıklı beton zaman-uzaklık grafiği (Keçeli, 2012).

Kırık veya çatlak Şekil 31'deki gibi eğimli ise elde edilecek uzaklık-zaman grafiği Şekil 32'de gösterilmiştir. Eğik kırıklı betonun kırık derinliği ise aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$h = \frac{T \cot \alpha (T \cot \alpha + 2L)}{2(T \cot \alpha + L)} \quad (46)$$



Şekil 31. Kırık tespiti için yapılan ultrasonik ölçüm (Keçeli, 2012).



Şekil 32. Eğik kırıklı beton zaman-uzaklık grafiği (Keçeli, 2012).

1.5.1.2.9. Ultrasonik Yöntem ile Beton Dayanımı Tespiti

Birçok araştırmacı beton dayanımını bulmak için ultrasonik yöntem ile basınç dalgası hızı belirleyerek beton dayanımına deneysel yaklaşımlar yapmışlardır. Çoğunlukla bu yaklaşımlar üssel ve eksponansiyel ilişkiler olarak sunulmuştur. Bu ilişkiler aşağıdaki eşitlikler ile verilmiştir. Formüllerdeki farklı araştırmacıların hesapladığı katsayılar Tablo 6 'da gösterilmiştir.

$$f_c = a V_p^b \quad (47)$$

$$f_c = A \exp^{(BV_p)} \quad (48)$$

Tablo 6. Farklı araştırmacılara ait üssel ve eksponansiyel ilişkilerin katsayıları (Uyanık, 2012)

$f_c = aV_p^b$	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
a	0.00834	1.745	1.304	0.000241	0.171	0.0022	0.036	2.6
b	6.074	2.057	2.222	8.1272	3.593	6.289	4.696	1.8
$f_c = A \exp(BV_p)$	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]		
A	0.0141	0.0012	0.06	2.901	0.15833	0.0316		
B	0.0017	0.00227	0.00144	0.0006	0.0014	0.0013		
[1]: Pessiki ve Carino 1988	[2]: Kheder 1999	[3]: Ferreira veCastro 1999						
[4]: Pascale vd. 2000	[5]: Biondi ve Candigliota, 2008	[6]: Yoo ve Ryu 2008						
[7]: Machado vd. 2009	[8]: Uyanık vd. 2011	[9]: Klieger 1957						
[10]: Elvery ve Ibrahim 1976	[11]: Ravindraiah vd. 1988	[12]: D'Ambrisi vd. 2008						
[13]: Chang ve Lien 2008	[14]: Atici 2011							

Uyanık ve diğ. (2011) P dalga hızı ile dayanım arasında (49)'daki üssel deneysel ilişkiyi önermiştir.

$$f_c = 2.6 V_p^{(1.8)} \quad \text{hız: km/sn} \quad f_c : \text{MPa} \quad (\text{Uyanık ve diğ., 2011}) \quad (49)$$

Literatürde yer alan bağıntılardan da anlaşılacağı üzere araştırmacılar beton dayanımını boyuna dalga hızına bağılı olarak hesaplamışlardır. Boyuna dalga hızı ile beton dayanımı ilişkilendirildiğinde geniş bir aralık verebilir. Bunun nedeni betonu oluşturan agreganın farklı türleri, boyutları, yüzdeleri ve betonda farklı tipte çimentoların kullanılmasıdır. Bu etkenleri göz önünde bulundurarak Uyanık ve diğ. (2012) betonun agrega türünden, çimento özelliklerinden oldukça etkilenen enine dalga hızını da kullanarak çok parametrelili bir ilişkilendirme yapmış ve aşağıdaki deneysel ilişkiyi vermiştir (Uyanık ve diğ., 2012). Aşağıdaki formülde ifade edilen bu ilişkinin sağıklı bir sonuç verebilmesi için kayma dalgalarının ölçümü hassas yapılmalıdır.

$$f_c = 4.2 V_p.V_s \quad \text{hız: km/sn} \quad f_c : \text{MPa} \quad (\text{Uyanık ve diğ., 2012}) \quad (50)$$

Formülde kullanılan V_p , p dalga hızı, V_s , s dalga hızı ve f_c beton dayanımıdır.

1.5.1.2.10. Çalışmada Kullanılan Ultrasonik Alet ve Ekipmanları

Çalışmada Pundit Plus Model PC1006 cihazı kullanılmıştır. Cihaz ismini "Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester" (Taşınabilir Ultrasonik Hasarsız Dijital Göstergeli Test) kelimelerinin ilk harflerinden alır ve P ile S dalgalarının hızlarını ölçmek için yapılmış ultrasonik test ekipmanıdır. Ultrasonik dalga üreten cihaz, bu elastik dalgaların, dinamik yolla, karot numuneler, beton, kaya numuneleri ve mostralar içerisindeki yayılım hızlarını ölçecek şekilde tasarlanmıştır. 80 nanosaniyeye kadarki hızlarda fonksiyonel olan bir analog/dijital çevirici ile ultrasonik sinyaller sayısal olarak bellekte biriktirilebilmektedir. Aletin ileticileri sedimanter ve volkanik kayaların test edilmesi için uygundur. Frekans aralığı 1 kHz – 300 kHz'dir. Ekipman parçaları ses titreşimi sağlayan bir verici prob, bu verici probun yaymış olduğu ses dalgalarını toplayan bir alıcı prob ve vericiden alıcıya kadar geçen süreyi ölçüp dijital olarak gösteren bir ana gövdedir.



Şekil 33. Pundit Plus Model PC1006 Ultrasonik Test Cihazı

Yüksek Voltaj Puls Üretici Cihaz vericileri için güç arttırıcı bir birimdir. Puls çıkış voltajı 250, 500, 1200 Volt'a kadar kademeli olarak yükseltilebilir. Cihaz ile uzun, çatlaklı ve gözenekli numunelerde de ölçüm yapılabilir.

Alete ölçüm mesafesi girildikten sonra hız ölçümüne başlanır. Eğer zaman ölçümü yapılacaksa buna gerek yoktur.

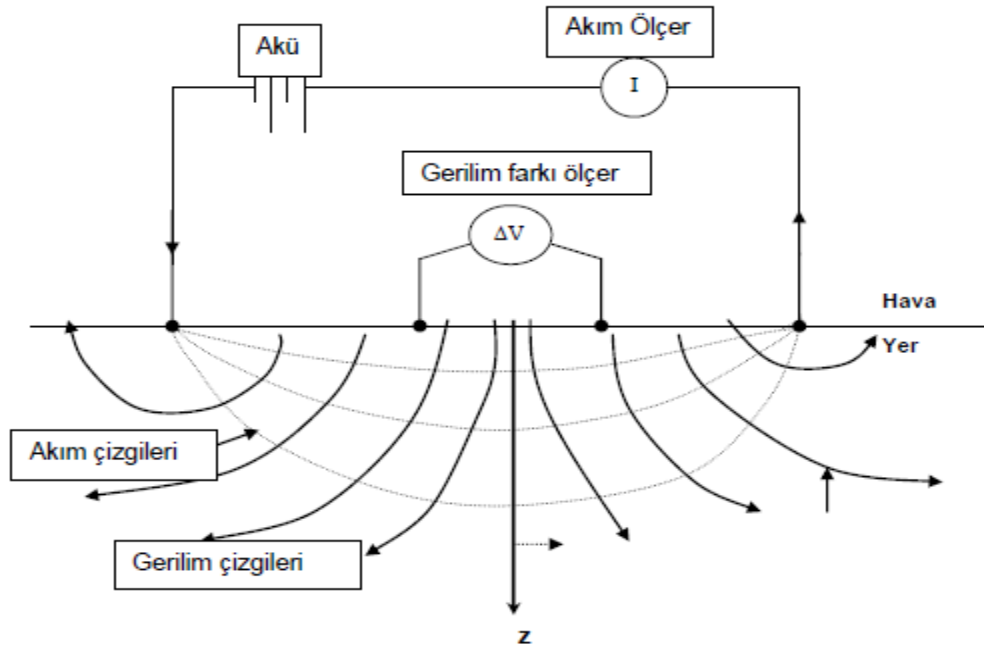
1.5.1.3. Elektrik Özdirenç Yöntemi

Bu çalışmada beton dayanım sınıfı nemlilik ve donatının durumunu incelemek için yapı elemanların ve betonlar üzerinde özdirenç ölçüleri alınmıştır. Bu yüzden burada özdirenç yöntemlerinin temel ilkeleri kısaca verilecektir.

1.5.1.3.1. Yöntemin Tanımı ve Çalışma Prensibi

Özdirenç (Resistivity) yöntemi olarakta bilinen doğru akım özdirenç (DAÖ) yöntemi, arama jeofizğinde kullanılan başlıca jeofizik yöntemlerdendir. Bu yöntemde amaç, yer içinin jeolojik yapısını, elektrik özelliğine (özdirenç) göre haritalamaktır. Yöntem, maden, mineral, jeotermal enerji kaynağı aramaları ile hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi problemlerinin çözümünde kullanılır. Özellikle 1980'lerden itibaren, arkeolojik yapıların aranmasında da yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Özdirenç yöntemi, kuramı ve uygulmasının kolay olması, ölçü aletinin basit olması ve etkili sonuçlar vermesinden dolayı günümüze kadar yaygın olarak kullanılmıştır.

Özdirenç yönteminde, çakılan elektrotlar ile yere akım uygulanır ve diğer noktadaki elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür (Şekil 34). Ölçülen gerilim farkı, tüm elektrotlar arasındaki uzaklığa ve ortamın jeolojik yapısına bağlıdır.



Şekil 34. Arazide ölçü sistemi. A ve B akım elektrodları, M ve N gerilim elektrodları. (Van Nostran ve Cook, 1966).

1.5.1.3.2. Yöntemin Tarihçesi

Jeofizik Mühendisliği uygulamalarında en fazla kullanılan ve Özdirenç yöntemi olarak da bilinen “Doğru Akım Özdirenç (DAÖ)” yönteminin, yer içindeki yapıların incelenmesine yönelik ilk uygulamaları 1916’ da Schlumberger ve 1918 yılında Wenner tarafından yapılmıştır (Rust, 1938).

Doğru akım özdirenç yöntemi jeofiziğin en eski yöntemlerinden birisidir. 1920’lerden günümüze uygulamalı jeofiziğin pek çok alanında başarıyla uygulanmaktadır. Eskiden özdirenç yönteminin arazide uygulamasının zahmetli ve pahalı olmasına karşın günümüzde gelişen bilgisayar ve elektronik teknolojisine bağlı olarak, yöntemde de birçok gelişme olmuştur. Çok elektrotlu ölçü düzenekleri sayesinde veriler çok daha hızlı toplanmakta ve ölçülen bu veriler iki-boyutlu (2-B) ve üçboyutlu (3-B) yorumlanmaktadır. çok elektrotlu düzenekler ile ölçüm yapmak kolay ve hızlı hale gelmiştir.

1.5.1.3.3. Elektrik Özdirenç Yönteminin Kullanıldığı Alanlar

Doğru akım özdirenç (DAÖ) yöntemi mühendislik çalışmalarında, hem ülkemizde hem dünyada sıkça kullanılmaktadır. Kaynaklarda, yer altının özdirenç değişimini inceleyen bu yöntemle yapılan, yer altı suyu aramaları, tabakaların kalınlıklarının ve konumlarının belirlenmesi, mühendislik yapıları için yer seçimi, mühendislik yapılarının iyileştirilmesi, tatlı-tuzlu su girişiminin belirlenmesi, yüzeye yakın ve zayıf ayrışma bölgesinin belirlenmesi vb. çalışmalara sıkça rastlanmaktadır.

Yöntem son yıllarda yapı jeofiziği çalışmalarında da kullanılmaktadır. Betonun korozyonunun, nemliliğinin belirlenmesi, bölgesel katodik koruma yerlerinin belirlenmesi, beton kalitesinin incelenmesi ve beton ıslah çalışmalarının başarısının araştırılması için kullanılmaktadır.

1.5.1.3.4. Yöntemin Avantaj ve Dezavantajları

Elektrik özdirenç yönteminde veri toplama işlemi kısa sürede ve kolayca yapılabilmektedir. Ekipman temini kolay ve oldukça ucuzdur. Yapılan çalışmalarda, amaca ve hedef yapıya göre farklı elektrot dizilimleri kullanılabilir. Doğal potansiyel yöntemi gibi diğer yöntemlerle birlikte kullanıldığında çok daha yararlı olabilir.

Yöntemin bu avantajlarına karşılık bazı dezavantajları da vardır. Ölçüm profillerinin konumu ve uzunluğu ayrıca ölçü noktalarının yerleri aranan yapının vereceği yanıtı etkilemektedir. Bu nedenle bunların seçimi oldukça önemlidir. Elektrotlar arası mesafe seçimi de oldukça önemlidir. Yöntem, yüzey özdirenci ve nem oranı çok yüksek olan alanlarda hatalı sonuçlar verebilir.

1.5.1.3.5. Yarı Sonsuz Homojen Bir Ortamda Gerilim ve Özdirenç Bağlıları

Homojen ve sonsuz izotrop ortamın herhangi bir noktasından nokta akım kaynağı uygulandığında kaynaktan R kadar uzaklıktaki akım yoğunluğu aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$J = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial V}{\partial R} \quad (51)$$

Burada J akım yoğunluğu, ρ özdirençtir, V gerilim ve R uzaklıktır. Akım yoğunluğu; akımın, geçtiği alana oranı olarak,

$$J = \frac{I}{A} \quad (52)$$

şeklinde tanımlanır. Burada A nokta kaynağının etki alanıdır. Kaynaktan R uzaklıktaki noktaların bir küre yüzeyi oluşturduğu düşünülürse ve (51) ile (52) eşitlenirse;

$$\frac{I}{A} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial V}{\partial R} \quad (53)$$

elde edilir. V gerilimi (54) denkleminin integrali alınarak,

$$V = \frac{\rho I}{4\pi R} + C \quad (54)$$

şeklinde çözülebilir. Kaynaktan çok uzak noktalarda gerilim sıfır olması gerektiğinden (54) denklemindeki C integrasyon sabitinin değeri sıfır olmalıdır. Gerçekte yeryuvarı hava ile

sınırlı olduğundan, ortamın yarısonsuz alınması gerekir (Başokur, 1984). O zaman gerilim denklemi;

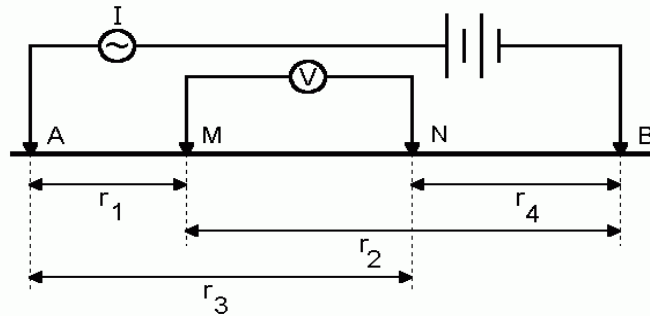
$$V = \frac{\rho I}{2\pi R} \quad (55)$$

ile verilmelidir.

Pratikte akım yeryüzünden I (source) ve $-I$ (sink) olmak üzere iki elektrodla uygulanır ve gerilim bütün noktalarda bu iki kutuplu (bipolar) düzenele ölçülür (Bhattacharya ve Patra, 1968).

I akımı homojen ve izotrop yarısonsuz bir ortama, yeryüzünden A ve B noktalarındaki elektrodla verilsin. Bu durumda M ve N noktalarındaki gerilim elektrodları arasındaki gerilim farkı aşağıdaki gibi hesaplanır (Şekil 35).

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (56)$$



Şekil 35. Elektrod dizilimlerinin genel gösterimi

Denklem (56) 'dan homojen ortamın özdirenci;

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (57)$$

şeklinde çözülebilir. Burada

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \quad (58)$$

olduğu görülmektedir. K geometrik faktör olarak isimlendirilir ve uzaklık boyutundadır. Denklem (57)'de hesaplanan gerilim farkı elektrodlar arasındaki uzaklığa, yere uygulanan akıma ve homojen ortamın öz direncine bağlıdır. Fakat gerçekte yer homojen değildir ve arazide ölçülen gerilim farkı (ΔV) kullanılarak (57) denkleminde hesaplanan öz direnç; Görünür Öz direnç (GÖ) olarak adlandırılır. GÖ, jeolojik yapının şekline, öz direncine ve kullanılan elektrod dizilimine bağlıdır. GÖ tanımlamasına göre; ortam homojen ve izotrop ise ölçülen GÖ ortamın öz direncine eşit olmalıdır. Tabakalı bir ortamda GÖ eğrisi AB/2' nin küçük değerleri için birinci tabakanın öz direncine, AB/2' nin büyük değerleri için son tabakanın öz direncine asimtot olmalıdır. Ayrıca GÖ, AB/2 nin ara değerlerinde de ara tabakaların öz direncine yakın olmalıdır (Başokur, 1994). Arazide ölçülen gerilim farkları, homojen ve izotrop ortama ait olmadığından bundan sonraki bölümlerde GÖ kavramı ($\rho_a = \rho$) kullanılacaktır.

1.5.1.3.6. Elektrod Dizilimleri

A, B akım ve M, N gerilim elektrodlarının farklı konumlarına göre farklı elektrod dizilimleri önerilmiştir. Aynı yer için farklı elektrod dizilimi ile ölçülen gerilim farkları ve dolayısı ile GÖ değerleri de farklı olmaktadır. Geleneksel elektrod dizilimleri, elektrodların bir bakışım (simetri) merkezine göre çizgi boyunca dizilmesinden elde edilen; Schlumberger, Wenner, dipol-dipol (dipole-dipole) ve pole-dipol (pole-dipole) dizilimleridir (Şekil 36). Bu dizilimlerin yanı sıra, kullanılan çok elektrodlu ölçü sistemlerine uygun ve uygulamada etkili olan dizilimler önerilmektedir. Bu dizilimler amaca yönelik seçilmektedir. Schlumberger ve Wenner dizilimi derin amaçlı araştırmalarda kullanılmaktadır. Yanal süreksizliklerin belirlenmesinde ise "pole-dipole" dizilimi iyi sonuç vermektedir. Maden aramacılığında ise daha çok "dipol-dipol" ve "Gradient" dizilimleri kullanılmaktadır.

Elektrod Dizilimi	Geometrisi	K	Ölçülen
(a) Schlumberger		Genel olarak $K = \frac{\pi}{4} MN \left[\frac{AB^2}{MN^2} - 1 \right]$ dir. Eğer, $MN=a$ ve $AM=NB=na$ alınırsa $\pi n(n+1)a$	$\rho_s(AMNB)$
(b) Wenner		$2\pi a$	$\rho_s(AMNB)$
(c) Dipol-dipol		$\pi n(n+1)(n+2)a$	$\rho_s(ABMN)$
(d) "Pole-dipol" sol (AMN)		$2\pi n(n+1)a$	$\rho_s(AMN)$
(e) "Pole-dipol" sağ (MNB)		$2\pi n(n+1)a$	$\rho_s(MNB)$
(f) İki-Yönlü Üç-Elektrod (İYÜE) dizilimi		$2\pi n(n+1)a$	$\rho_s(AMN)$ ve $\rho_s(MNB)$

Şekil 36. Kullanılan başlıca elektrod dizimleri (Burada $n=1, 2, \dots$)

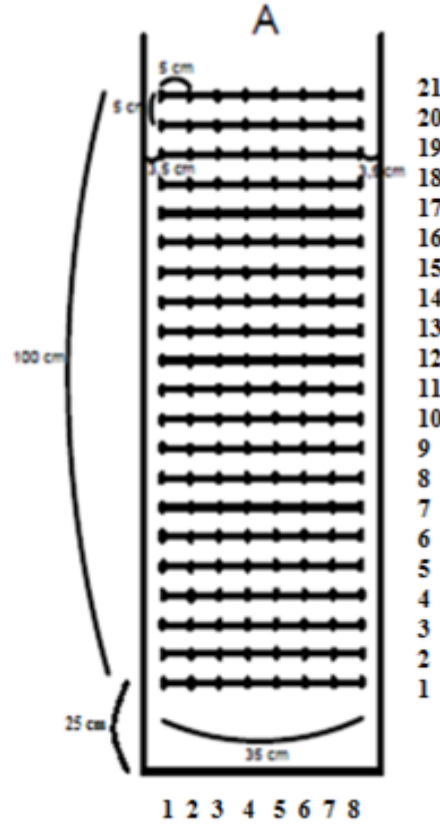
1.5.1.3.7. Ölçüm Alım Teknikleri

Doğru Akım Özdirenç yönteminde genel olarak Sondaj Ölçüsü, Profil Ölçüsü ve Sondaj-Profil Ölçüsü olmak üzere üç farklı ölçü toplama tekniği vardır. Ölçülen verilerden GÖ sondaj eğrileri, profil eğrileri ve yapma-kesitleri elde edilir. Ayrıca birbirine paralel profiller boyunca ölçülmüş profil ölçüsü verileri birlikte kullanılarak GÖ seviye haritaları elde edilir. Bu çalışmada profil ölçüsü alınmış ve GÖ seviye haritaları çizdirilmiştir.

1.5.1.3.7.1. Profil Ölçüsü

Profil ölçüsünde bir doğru boyunca her ölçü sonucunda elektrodlar belli örnekleme aralıklarında kaydırılır. Profil hattında belirlenen ölçüm noktalarında ölçüm tamamlandıktan sonra diğer profile geçilir. Tüm profil hattı boyunca ölçüm alınır. Şekil 37'de çalışma kapsamında kolonun bir kesitinde oluşturulan profil hatları görülmektedir.

Burada profil sayısı kalıbın sağ tarafında ve profil noktaları kalıbın alt tarafında gösterilmektedir. Profil noktaları arası 5'er cm'dir ve bu noktalarda alet kaydırılarak profil ölçüleri alınmıştır.



Şekil 37. Elektrik özdirenç ölçümü profil hatları

1.5.1.3.8. Yapı Jeofiziğinde Elektrik Özdirenç Yöntemi

Endüstriyel yatırımları ve üretimin maliyetini etkileyen en önemli faktörlerden biri olan korozyon; malzemelerin içinde buldukları ortamın etkisiyle, dışarıdan herhangi bir enerji verilmeden kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde değişimlerin meydana gelmesidir.

Zemin boşluklarında yer alan su içerisinde, çözülmüş çeşitli iyonlar ve çözülmüş veya gaz halinde oksijen yer alır. Pozitif ve negatif iyonların bulunduğu bu şekilde bir elektrolit içerisinde korozyonun gerçekleşmesi için iki ayrı metalin bulunması şart değildir. Metal yapısında veya elektrolitte bulunan bazı farklılıklar nedeniyle meydana gelen gerilim farkı, mikro veya makro korozyon hücreleri oluşturabilir. Bunun sonucu olarak; metal

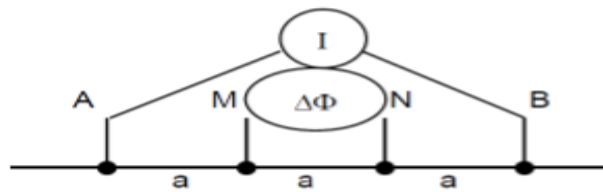
yüzeyinin bazı bölgeleri katot bazı bölgeleri de anot özelliği gösterir (Candansayar ve Demirel, 2015).

Korozyon terimi, metallerin oksijen ile teması durumunda elektrokimyasal oksidasyonu anlamında kullanılmaktadır. Bu oksidasyon sonucu metal, oksit veya tuz oluşturmaktadır. Yeraltı boru hatları, çevresindeki boşluklarda bulunan akışkan ve oksijenlerden oluşan elektrolit ile metal etkileşime girerek bölgesel olarak bu tip korozyona neden olabilmektedir (Candansayar ve Demirel, 2015). Metal veya metal alaşımlarının oksitlenme veya diğer kimyasal etkilerle aşınma durumu olan korozyona örnek olarak demirin paslanması ve alüminyumun oksitlenmesi verilebilir.

Betonun elektrik özdirenci beton içinde bulunan çelik çubukların korozyonunu göstermek ve ilerlemesini belirlemek için ana parametredir. Beton özdirenci başlıca boşluk iletkenliğine, hacim ve çimento tipine, sıcaklık ve neme bağlıdır. Yüksek elektrik özdirence sahip beton içindeki korozyon işlemi, içinde anot ve katot arasındaki elektrik akımı hızla geçen düşük özdirençli betona göre daha yavaş olacaktır.

Elektriksel özdirenç beton içindeki boşluklardaki nem oranının, boşluk sistemi dağılımının ve büyüklüğünün bir ölçüsüdür. Özdirenç beton kalitesi, çimento miktarı, su/çimento oranı, kür ve içine konan katkıları tarafından kuvvetle etkilenmektedir.

Yapı jeofiziği uygulamalarında en çok Wenner elektrod dizilimi kullanılmaktadır. Bu dizilimde dışta akım elektrodları (A ve B) ve içte gerilim elektrodları (M ve N) bir doğru boyunca dizilir ve ardışık elektrodlar arasındaki mesafe eşittir (Şekil 38).



Şekil 38. Wenner elektrod dizilimi

Betonun özdirenci aşağıdaki nedenlerden dolayı düşebilir (URL-1, 2016):

- Betondaki su içeriğinin artması
- Beton boşluk oranı (porozite) nin artması
- Isının artması
- Klorit miktarının artması
- Karbonizasyon derinliğinin azalması.

Beton özdirencinin azalması durumunda, betondaki korozyon oranı artmaktadır. Beton özdirencinin artması ise, betonun kuru ve karbonlaşmış olmasını, dolayısıyla korozyon riskinin azalmasını gösterir. Beton görünür özdirenç değerlerine göre korozyon riski Tablo 7’de, korozyon oranı Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Korozyon riski (Proceq Resipod Family, 2013).

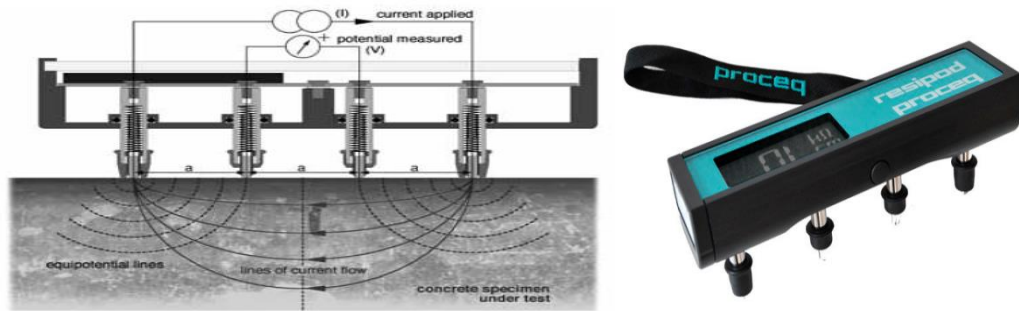
Görünür Özdirenç (k Ω .cm)	Korozyon Riski
≥ 100	İhmal edilebilir korozyon riski
= 50 - 100	Düşük korozyon riski
= 10 - 50	Orta dereceli korozyon riski
≤ 10	Yüksek korozyon riski

Tablo 8. Korozyon oranı (Proceq Resipod Family, 2013).

Görünür Özdirenç (k Ω .cm)	Korozyon Oranı
> 20	Düşük
10 - 20	Düşük ile orta arası
5 - 10	Yüksek
< 5	Çok yüksek

1.5.1.3.9. Çalışmada Kullanılan Elektrik Özdirenç Alet ve Ekipmanları

Çalışma kapsamında Resipod Proceq marka elektrik özdirenç aleti kullanılmıştır. Probları arası 50 mm olan aleti ve düzeneği Şekil 39’da gösterilmiştir. Alet sabit aralıklı Wenner elektrod diziliminde ölçüm yapmaktadır.



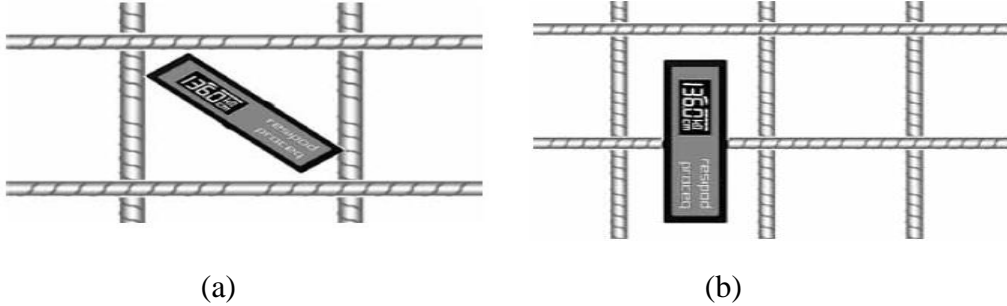
Şekil 39. Resipod Proceq özdirenç aleti ve düzeneği a=50mm (Proceq Resipod Family, 2013).

Aletle ölçüme başlamadan aletin elektrodları suya batırılıp nemlendirilmelidir. Aletin kalibrasyonu ve kontrolü Şekil 40’da görülen ekipmanla sağlanmaktadır.



Şekil 40. Alet kontrol ekipmanı (Proceq Resipod Family, 2013).

Ölçümlerde mümkün olduğunca donatıların problemleri altına gelmeyeceği şekilde ölçüm yapılmalıdır (Şekil 41 a). Fakat donatı mesafesi kısa ise bu sağlanamaz. Ancak donatının etkisi en aza indirgenebilir. Donatıya dik olarak ölçüm yapılır (Şekil 41 b).



Şekil 41. Ölçüm noktaları a) Problemler donatıların arasında ölçüm b) Problemler donatılara gelirse donatılara dik şekilde ölçüm (Proceq Resipod Family, 2013).

Ölçümlerde hata oranını düşürmek için her ölçüm noktasından birkaç mm hareketle 5 okuma yapılması önerilir.

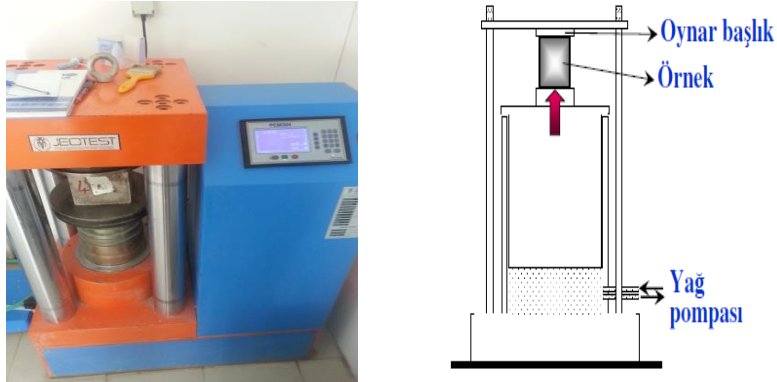
1.5.2. Beton Kalitesi Tespitinde Kullanılan Diğer Laboratuvar Test Yöntemleri

Günümüzde en sık kullanılan beton testleri numune alınarak uygulanan test yöntemleridir. Bu yöntemler Tek eksenli basınç deneyi, Yarmada çekme deneyi ve Eğilme dayanım deneyleridir. Bu yöntemler yapılardan karot ile alınan silindirik numunelere, beton dökümünden önce betondan alınan küp numunelere ya da prizma şeklindeki numunelere uygulanırlar. Bu çalışma kapsamında küp numunelere önce ultrasonik yöntem daha sonra tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır.

1.5.2.1. Tek Eksenli Basınç Deneyi

Yöntem silindir veya küp şeklinde hazırlanan numunelerin üzerinden düşey eksen boyunca basınç uygulanması ile gerçekleşir. Eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyetidir. Hemen hemen tüm yapıların tasarımında beton basınç dayanımı kullanılmaktadır.

Deney uygulamasında standartları ve boyutları belirli olan beton numune kalıplarına yerleştirilmektedir. Bir gün sonra kalıptan çıkarılmakta ve daha sonra 7 günlük sonuç alınacaksa 7 günlük, 28 günlük sonuç alınacaksa 28 günlük küre tabi tutulacağı havuza bırakılmaktadır. Daha sonra beton numunesi basınç dayanımı elde etmek için teste tabi tutulur. Numuneye basınç uygulanarak kırılması sağlanır. Haznedeki dinamometre ile kırılma anındaki uygulanan basınç ölçülür. Şekil 42’de beton test cihazı görülmektedir.



Şekil 42. Basınç deneyi test cihazı

Kırma basınç değeri aşağıdaki bağıntı ile elde edilir. Birimi N/mm^2 'dir.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (59)$$

Burada σ basınç dayanımı, P kırılmaya sebep olan en büyük yük, A ise numune kesit alanıdır. Silindir şekilli standart numunenin boyutları çapı 15 cm ve yüksekliği 30 cm olan numunedir. Yani boy/çap oranı 2’dir. Araştırma amacıyla bazı özel uygulamalarda 7.5-10-30 cm çapında silindir numunelerde kullanılmaktadır. Ancak bu numunelerde boy/çap oranının 2 olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca günümüzde 15x15x15 cm’lik küp numuneler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında da 15x15x15 cm ’lik küp numuneler kullanılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında yapı jeofiziği uygulamaları gerçekleştirilerek uygulanan yöntemlerin etkinliği araştırılmıştır. Birçok deneme yapılarak ölçü alınmış ve veri işlem sırasında en uygun işlemler belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmada, hem mevcut betonarme yapılar üzerinde hem de çalışma kapsamında oluşturulan betonarme yapılar üzerinde ölçümler yapılmıştır. Mevcut bir kolon üzerinde, beton dayanımı, korozyon, donatı ve paspayı tespiti için Ultrasonik, Elektrik Özdirenç ve Yer Radarı yöntemleri ile ölçümler yapılmıştır. Ayrıca, mevcut bir yapının tavanında korozyon olduğu gözlemlenen kısımda Elektrik Özdirenç yöntemi ile ölçümler alınmıştır. Daha sonra çalışma kapsamında oluşturulan düşey betonarme yapı üzerinde donatı, paspayı, dayanım ve özdirenç değerlerinin tespiti için Yer Radarı, Ultrasonik ve Elektrik Özdirenç yöntemleri ile ölçümler yapılmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan içerisinde donatı, PVC boru ve çelik hasır bulunan yatay betonarme yapıda Yer Radarı ve Ultrasonik yöntemleri kullanılarak, kullanılan malzemelerin konumlarının tespiti, ayrıca kırık ve çatlak tespiti için ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında küp beton numuneleri oluşturularak dayanım tespiti için önce Ultrasonik yöntem ile ölçümler yapılmış ve daha sonra Basınç Dayanım Testi uygulanmıştır.

2.1. Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

2.1.1. Beton

Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir. Beton sınıfları ve dayanımları TS EN 206-1'e göre Tablo 9' da gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan betonarme yapılarda kullanılan beton sınıfı C25/30 'dur. Ayrıca oluşturulan kübik numunelerde kullanılan betonların sınıfları C25/30 ve C30/37 'dir. Bu çalışma kapsamında kullanılan beton malzemeleri Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 9. TS EN 206-1' e göre Beton sınıfları ve dayanımları

Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı $f_{ck,sil} = N/mm^2$	En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck,küp} = N/mm^2$
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Tablo 10. Beton malzemeleri ve miktarları

Beton Malzemeleri	C 25/30	C 30/37
	Birim Ağırlık (kg/m^3)	Birim Ağırlık (kg/m^3)
Doğal Kum (0-9)	355	345
Kırma Kum (0-7)	585	601
İnce Agrega (7-15)	356	358
Kaba Agrega(15-25)	495	478
Çimento	320	380
Su	222	180
Katkı	3,52	4,18
Toplam	2336,52	2346,18

2.1.1.1. Agregalar

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Betonun hacimsel olarak en fazla kullanılan bileşenidir. Agregalar boyutları ve birim ağırlıkları Tablo 10'da gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan agregalar Şekil 43'de gösterilmektedir.



Şekil 43. Bu çalışma kapsamında kullanılan agregalar

2.1.1.2. Çimento

Çimento, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır. Çimentonun görevi, su ile reaksiyona girerek, agregalar tanelerinin çevresini kaplamak, taneler arasındaki boşlukları doldurmak ve bunları birbirine bağlayarak kaynaştırmaktır. Kullanım amacı farklı çimentolar üretilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan çimento türü Ünye Çimento Fabrikasında TS-EN 197-1'e göre üretilen CEM I 42,5 R'dir.

2.1.1.3. Karışım Suyu

Suyun görevi kimyasal reaksiyonu başlatarak sürdürmek ve betona işlenebilir bir akıcılık (kıvam) sağlamaktır. İçilebilen her su beton yapımında kullanılabilir. Su tuzlu, kirli ve bulanık olmamalı ayrıca kullanılan suda asit ve yağ bulunmamalıdır. Bu çalışma kapsamında içme suyu kullanılmıştır.

2.1.1.4. Katkı Maddesi

Beton katkı maddeleri; su, agrega ve çimento dışında betonlara çok düşük miktarda katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir. Başlıca kullanılma sebepleri, priz (katılma) süresini kısaltmak veya uzatmak, su/çimento oranını azaltmak, dayanımı arttırmak (süper akınlaştırıcı), dayanımı düşürmeden akıcı beton yapmak (akışkanlaştırıcı), betonun donmasını önlemek (antifriz), betona renk vermektir. Bu çalışma kapsamında Sikament FFN-100 yüksek oranda su azaltan süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır.

2.1.1.5. Beton Kürü

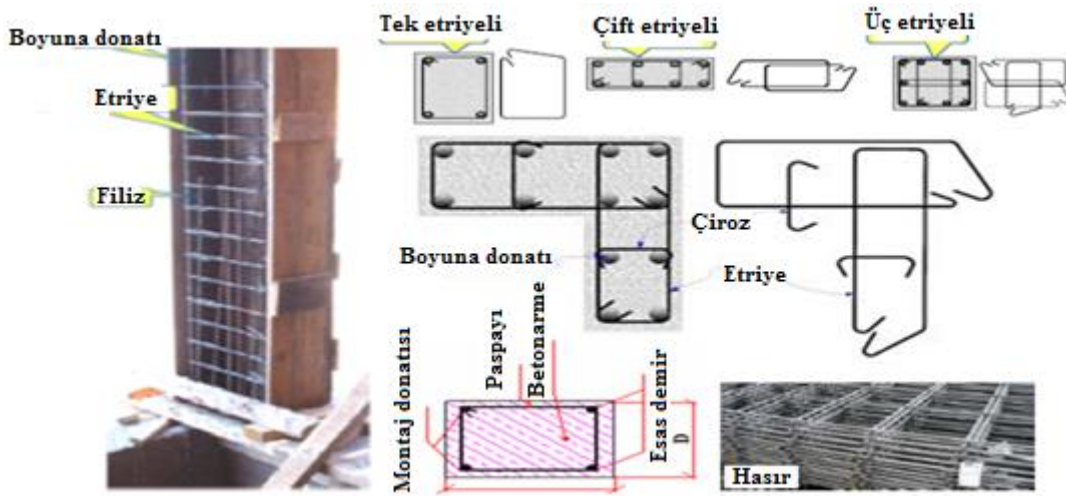
Beton kalitesi numune olarak belirlenir. Numuneler, alındıkları yerden taşınmadan, kalıp içerisinde (16 saatten az, 3 günden fazla olmamak üzere) yeterli sertliğe ulaşmaya kadar, dış etkilerden, şoktan, titreşimden ve kurumadan korunur. Daha sonra numuneler kalıptan çıkartılır ve deney yapılıncaya kadar, $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su içerisinde (veya % 95 nemli ortamda) kür görmelidir. Bu çalışma kapsamında betonlardan küp numuneler alınıp 28 gün kür havuzunda bekletilmiştir (Şekil 44).



Şekil 44. Bu çalışma kapsamında oluşturulan beton numuneleri

2.1.2. Betonarme

Betonarme, beton ile çeliğin beraber kullanımınıdır. Betonun basınç dayanımı yüksek olmasına karşın çekme dayanımı çok düşüktür. Betonarme elemanlarda çekme kuvvetlerini karşılamak ve çatlakları sınırlamak için çekme bölgelerine çelik çubuklar konur. Oluşan bu malzemeye betonarme denir. Betonarme yapılarda boyuna donatılar, etriyeler, filizler, çirozlar ve hasırlar bulunur. Ayrıca donatı ile beton arasında paspayı bırakılır (Şekil 45). Bu çalışma kapsamında kolon için donatı ve kalıp oluşturulup betonu döküldü. Ayrıca çelik hasır, PVC boru ve farklı çapta demir donatılardan oluşan kalıp oluşturulup beton döküldü (Şekil 46).



Şekil 45. Kolon, boyuna donatı, etriye, hasır, paspayı örnekleri



Şekil 46. Bu çalışma kapsamında oluşturulan betonarme yapılar

2.1.2.1. Donatı

Donatı, betonun çekme dayanımını artırmak için konulan çelik çubuklardır. Betonarme yapılarda boyuna donatı ve etriye (yatay donatı) kullanılır. Hazırlanan kolon donatısında 12-16-20 mm çaplarında boyuna donatılar ve 12 mm çapında etriyeler kullanılmıştır. Ayrıca hazırlanan yatay betonarme yapıda da 12-16-20 mm çaplarında donatılar kullanılmıştır (Şekil 46).

2.1.2.2. Paspayı

Demir donatı ile dış beton yüzeyi arasındaki mesafedir. Çeliğin çevre etkilerine karşı korunması için paspayı bırakılır. Kolon kalıbında 2-12 cm arasında paspayları bırakılmıştır.

2.1.2.3. Hasır Çelik

Çubukların ağ şeklinde fabrikada birbirine kaynaklanması ile üretilen çeliklere hasır çelik denir. Şekil 46'da da görülen yatay kalıpta 5 mm çapında 15x15 cm göz aralıklı 2 kat hasır kullanılmıştır.

2.1.2.4. Plastik Boru

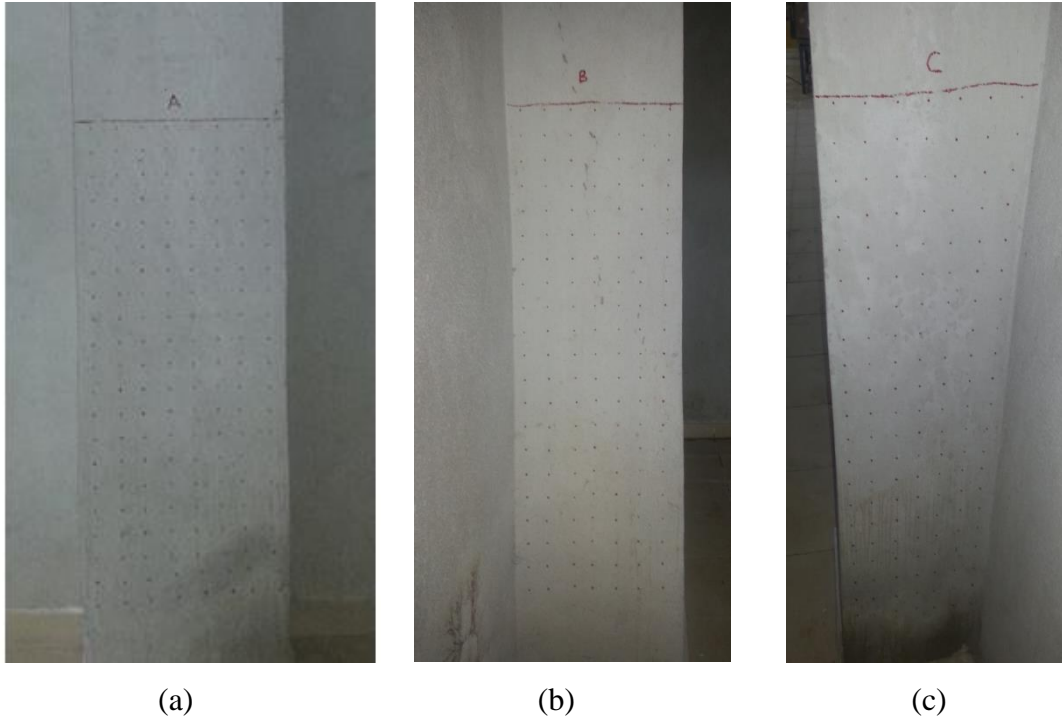
PVC boru atık suların binadan uzaklaştırılmasında sıkça kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında Şekil 46'da da görülen yatay kalıpta 50 mm ve 75 mm çapında PVC borular kullanılmıştır.

2.2. Ölçüm Yapılan Yerler ve Ölçüm İçin Kullanılan Modeller

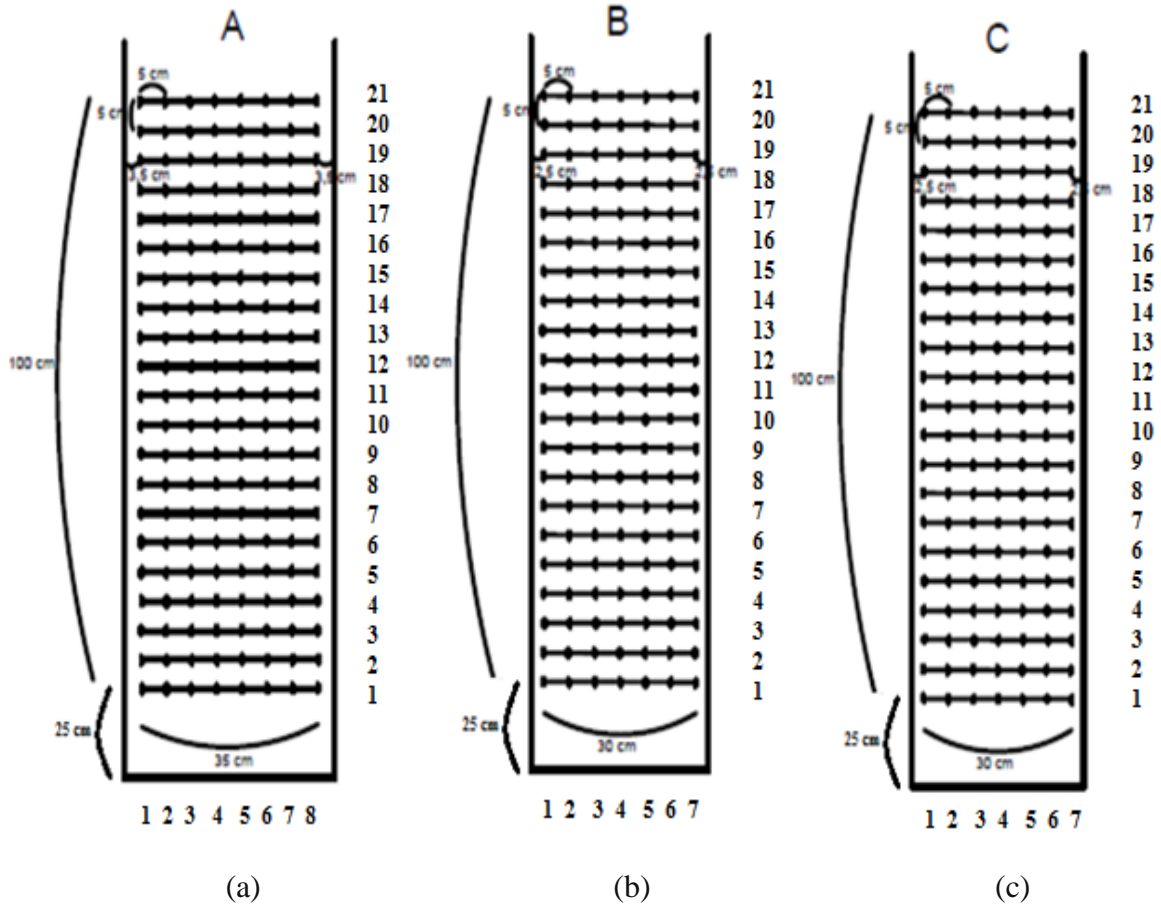
Çalışma kapsamında, 3 farklı yapı modeli kullanılmıştır. Model 1, Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü zemin katta bulunan kolondur. Kolonun 3 kenarı A, B ve C kesitlerine ayrılmıştır (Şekil 47). Ölçüm noktaları 3 kenarda da aynı hizadadır. Kesitlerdeki profil numaraları ve ölçüm noktaları Şekil 49 'da gösterilmektedir.

A kesitinin genişliği 42 cm'dir. Sağdan ve soldan 3,5 cm'lik boşluklar bırakılarak 35 cm'lik yatay profil oluşturulmuştur. Profilde 5'er cm ara ile ölçüm noktaları işaretlenmiştir. İlk noktaların yatay konumu 0 olarak gösterilmiştir. Daha sonra profil düşeyde 5'er cm kaydırılarak 21 adet profil hattı oluşturulmuştur. Profiller kesitin en alt kısmından 25 cm üstten başlamaktadır ve bu profil hattının kolon üzerindeki düşey konumu 0 olarak gösterilmiştir (Şekil 48).

B ve C kesitinin genişliği 35 cm'dir. Sağdan ve soldan 2,5 cm'lik boşluklar bırakılarak 30 cm'lik yatay profil oluşturulmuştur. Profilde 5'er cm ara ile ölçüm noktaları işaretlenmiştir. İlk noktaların yatay konumu 0 olarak gösterilmiştir. Daha sonra profil düşeyde 5'er cm kaydırılarak 21 adet profil hattı oluşturulmuştur. İlk profil kolonun en alt kısmından 25 cm üstten başlamaktadır ve bu profil hattının kolon üzerindeki düşey konumu 0 olarak gösterilmiştir (Şekil 48).



Şekil 47. Model 1 kolon kesitleri (a) A kesiti (b) B kesiti (c) C kesiti

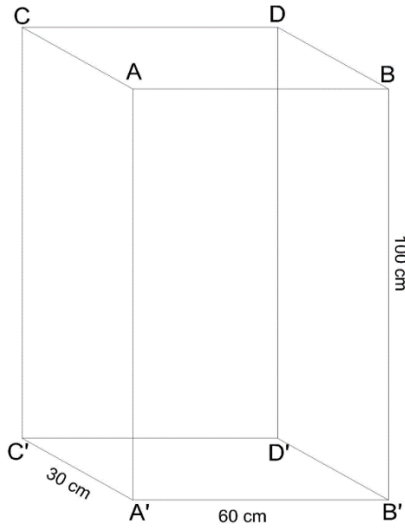


Şekil 48. Model 1 üzerinde kolon profil hatları a) A kesiti b) B kesiti c) C kesiti

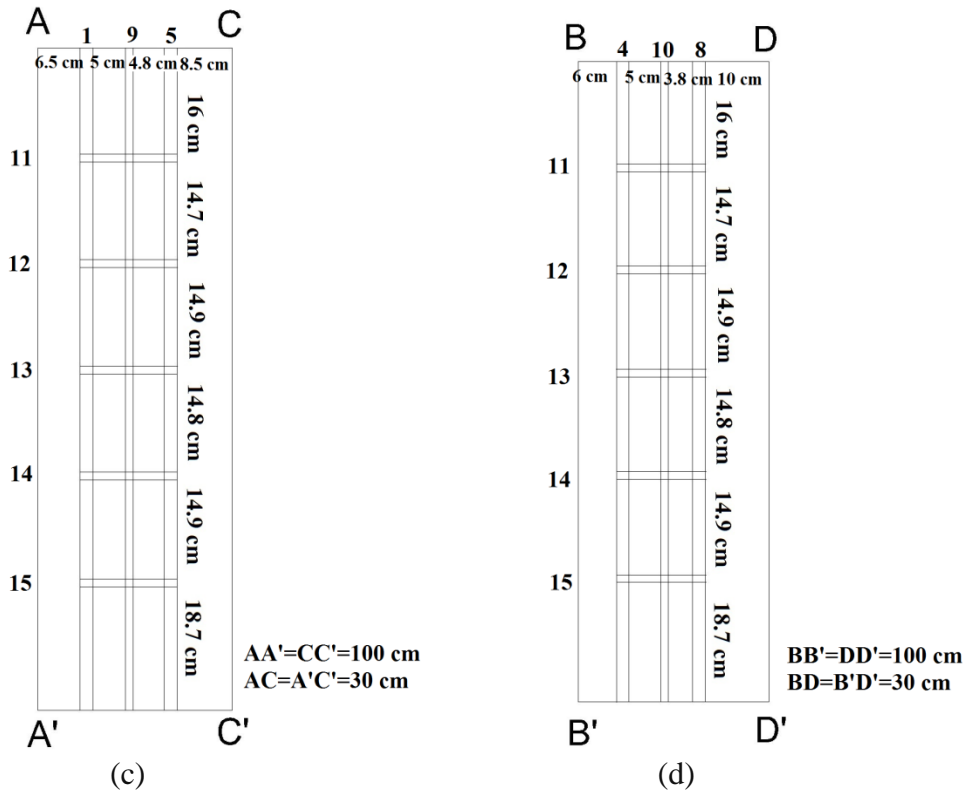
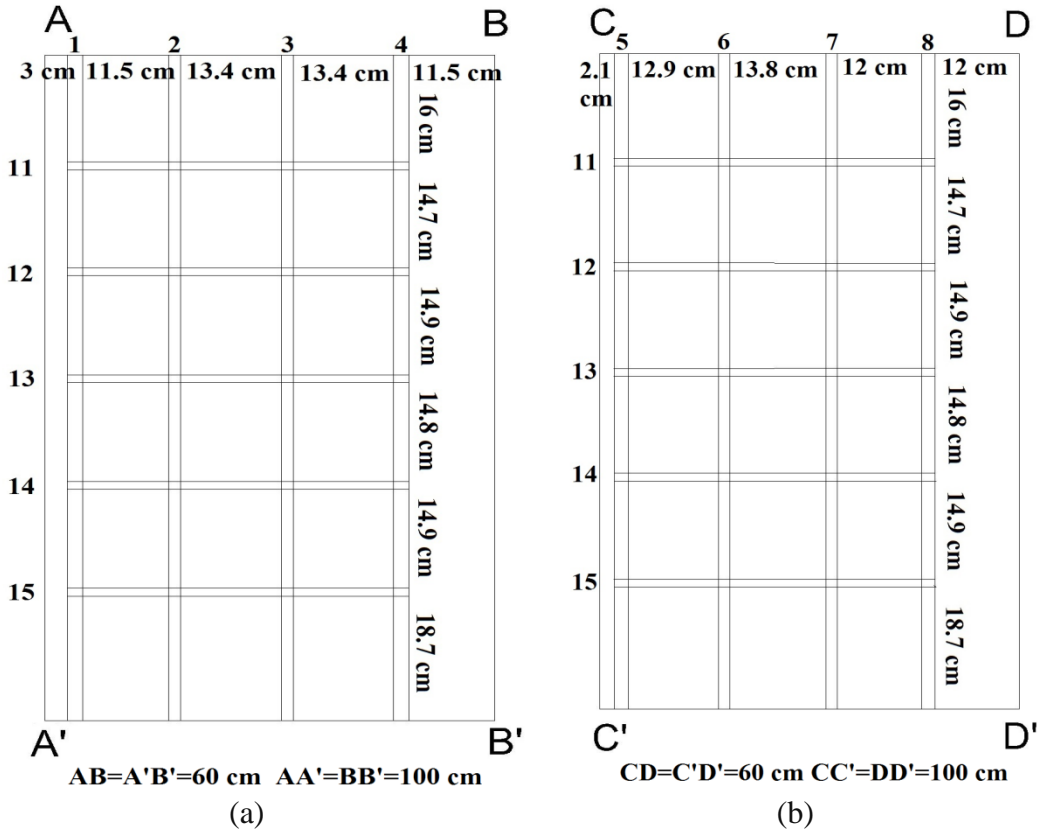
Model 2 'nin kalıp kurulumu, donatı montajı ve beton dökümü Mapa İnşaat Yıldızlı Şantiyesi Yapı Denetim Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Kalıp ve donatılar Şekil 49'da gösterilmektedir. Kolon şeklinde oluşturulan düşey betonarme numunenin boyutları Şekil 50 'de, donatı aralıkları ile paspayları Şekil 51 ve Şekil 52 'de gösterilmektedir. Donatı çapları Tablo 11 'de verilmiştir. Donatılar ayırım yapılabilmesi için numaralandırılmıştır.



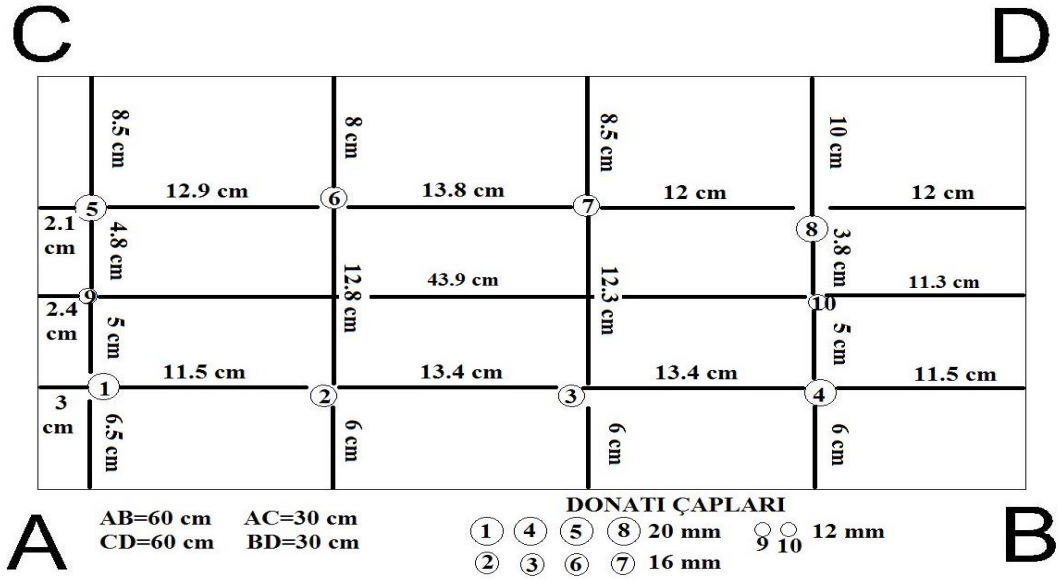
Şekil 49. Model 2 kolon kalıp ve donatıları



Şekil 50. Model 2 kolon boyutları



Şekil 51. Model 2 kolon kalıbu kesitleri a) AB kesiti b) CD kesiti c) AC kesiti d) BD kesiti

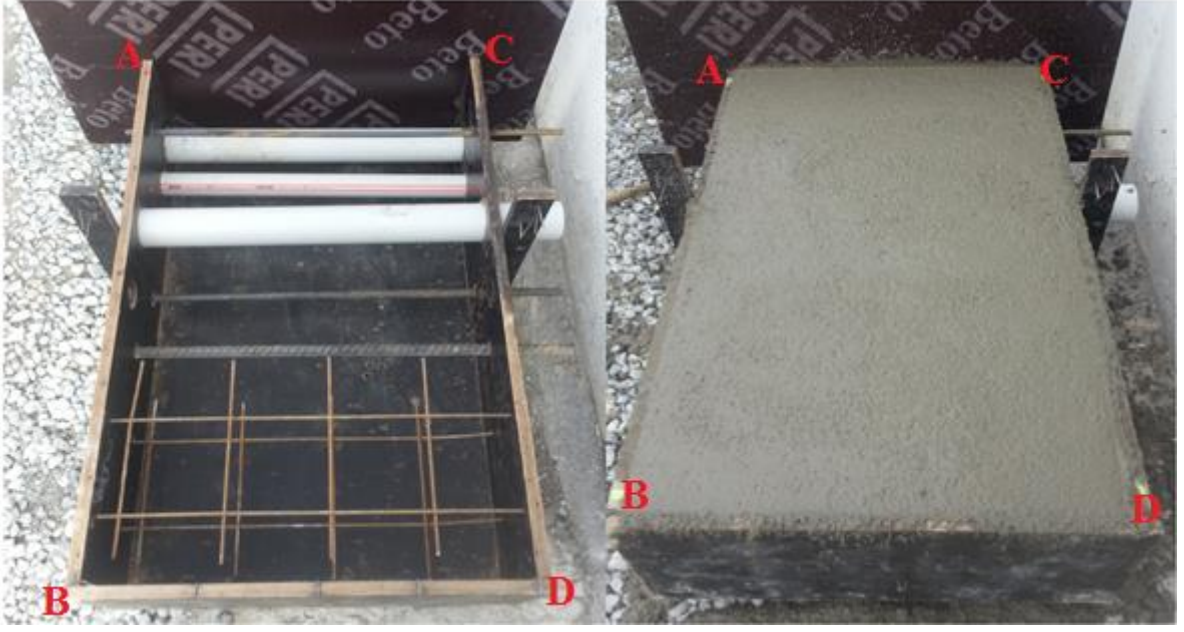


Şekil 52. Model 2 ABCD kesiti

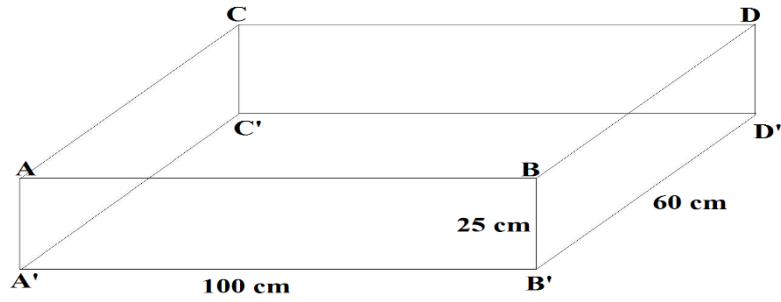
Tablo 11. Donatı Çapları

DONATI NUMARASI	ÇAPI
1 - 4 - 5 - 8	20 mm
2 - 3 - 6 - 7	16 mm
9 - 10	12 mm
11 - 12 - 13 - 14 - 15 (Etriyeler)	12 mm

Model 3, olarak oluşturulan yatay betonarme numunenin malzemelerinin yerleştirilmesi ve beton dökümü Mapa İnşaat Yıldızlı Şantiyesi Yapı Denetim Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Kalıp ve donatıları Şekil 53'te görülmektedir. Kalıbın içinde 3 adet PVC boru, 3 adet demir donatı ve 2 adet çelik hasır mevcuttur. Kalıbın boyutları Şekil 54 'de görülmektedir.

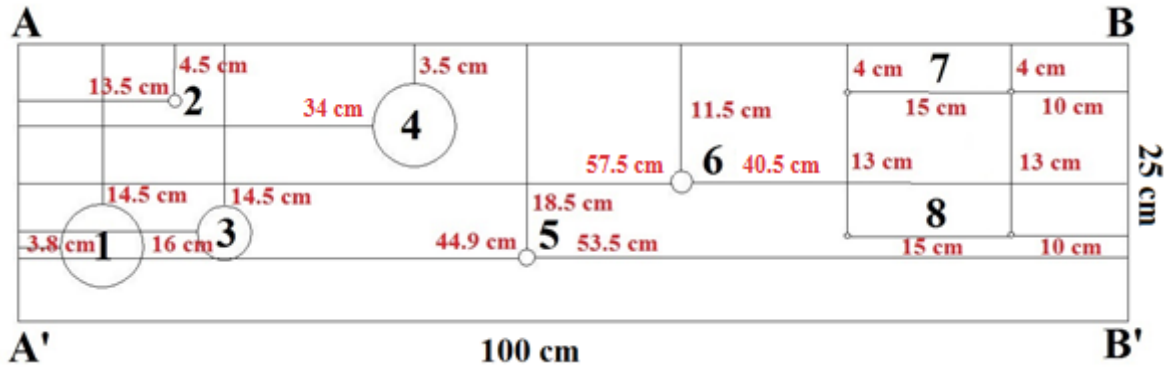


Şekil 53. Model 3 kalıbı ve donatıları



Şekil 54. Model 3 kalıp kesit ve boyutları

Model 3 kalıbının içindeki malzemelerin konumları Şekil 55 'de AB kesitinde görülmektedir. Malzemeler AB ve CD kesitlerine dik, AC ve BD kesitlerine paraleldir. Malzemeler ayırım yapılabilmesi için numaralandırılmıştır. Kullanılan malzemelerin türü, çapları, buldukları derinlikler ile A noktasına ve B noktasına olan yatay mesafeleri Tablo 12 'de belirtilmiştir. Mesafeler, malzeme çaplarının başlangıç noktalarına kadar olan mesafelerdir.

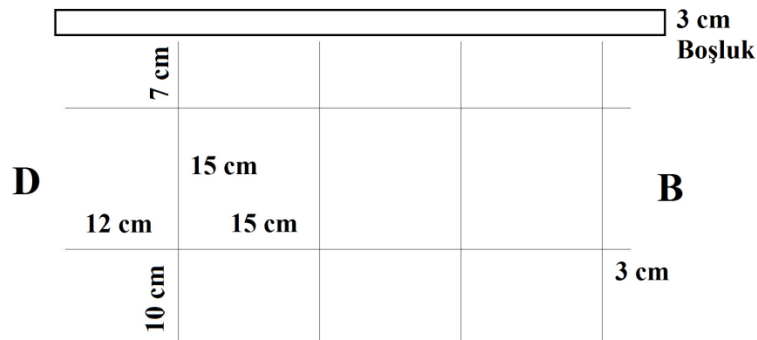


Şekil 55. Model 3 AB kesiti

Tablo 12. Model 3 'te kullanılan malzemelerin özellikleri

MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ					
NO	TÜRÜ	ÇAPI (mm)	DERİNLİK (cm)	A NOKTASINA YATAY UZAKLIK (cm)	B NOKTASINA YATAY UZAKLIK (cm)
1	PVC Boru	75	14.5	3.8	88.7
2	Çelik Donatı	12	4.5	13.5	85.3
3	PVC Boru	50	14.5	16	79
4	PVC Boru	75	3.5	34	58.5
5	Çelik Donatı	16	18.5	44.9	53.5
6	Çelik Donatı	20	11.5	57.5	40.5

Model 3'te kullanılan 7 ve 8 numaralı malzemeler çelik hasırdır. Ölçüleri Şekil 56 'da gösterilmiştir. 7 numaralı çelik hasır beton yüzeyinden 4 cm aşağıda ve 8 numaralı çelik hasır beton yüzeyinden 17 cm aşağıdadır. Çelik hasırın kalıp ile arasında 3 cm boşluk bulunmaktadır. Çelik hasır çubuk çapları 5 mm'dir.



Şekil 56. Model 3 çelik hasır ölçüleri

Çalışma kapsamında 3 modelin haricinde de ölçümler yapılmıştır. Bunlardan birincisi Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü zemin katta onarım yapılmakta olan kısmın tavanında yapılmıştır (Şekil 57).



Şekil 57. Tavanda ölçüm alınan bölge

3 modelin haricinde yapılan ölçümlerden ikincisi Mapa İnşaat Yıldızlı Şantiyesi Yapı Denetim Laboratuvarı'nda alınan beton numunelerinde yapıldı. Küp şeklinde olan numunenin boyutları 15x15x15cm 'dir (Şekil 58).



Şekil 58. Küp numune kalıbı ve numune örnekleri

2.3. Ultrasonik Yöntem ile Yapılan Ölçümler ve Elde Edilen Veriler

Çalışma kapsamında ultrasonik yöntem model 1, model 2, model 3 ve küp beton numunelerinde uygulanmıştır.

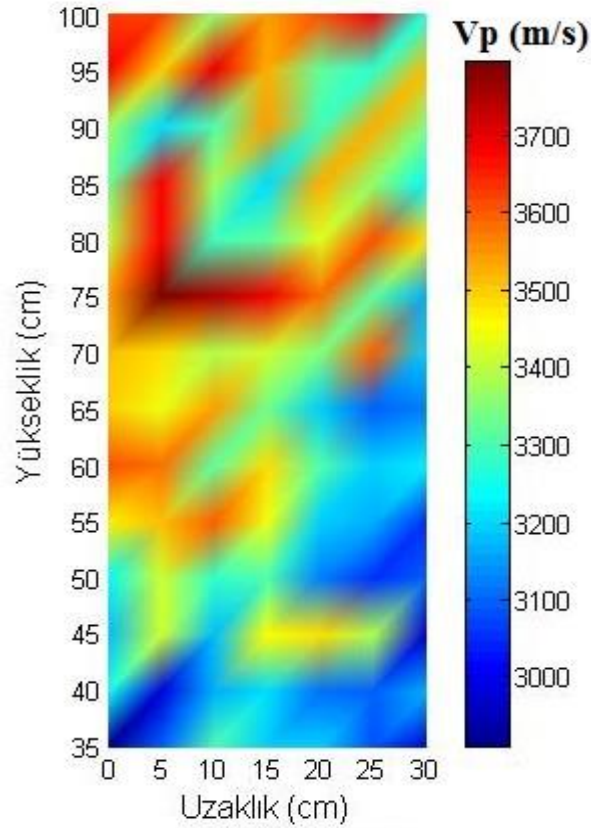
Model 1’de Şekil 47’de gösterilen kolon kesitlerinden, verici B kesitinde alıcı C kesitinde karşılıklı olacak şekilde ölçümler alınmıştır (Şekil 59). Profil hatları ile ölçüm noktaları Şekil 48’de gösterilmiştir. Kolonda ölçümlere 8. profil hattından yani düşeyde 35 cm’den başlanmıştır. Alıcı verici arası uzaklık 42 cm’dir. Ölçüm sonuçları Tablo 13’de görülmektedir. Hazırlanan ultrasonik hız haritası ise Şekil 60’da gösterilmiştir. Ayrıca sıva düzeltmesi yapılmış ölçüm sonuçları Tablo 14’ te ve bu verilere ait hız haritası ise Şekil 61’de gösterilmiştir. Sıva düzeltmesi için (43) ve (44) bağıntıları kullanılmıştır. Bağıntılarda sıva kalınlığı kolonun her iki tarafında 8’er mm olmak üzere toplam 16 mm alınmıştır. Sıva ile birlikte kolon kalınlığı 42 cm ve sıvasız beton kalınlığı 40.4 cm’dir. Sıvanın ultrason hızı 1200 m/sn alınmıştır.



Şekil 59. Model 1 ultrasonik ölçü alımı

Tablo 13. Model 1'den elde edilen ultrasonik hız değerleri

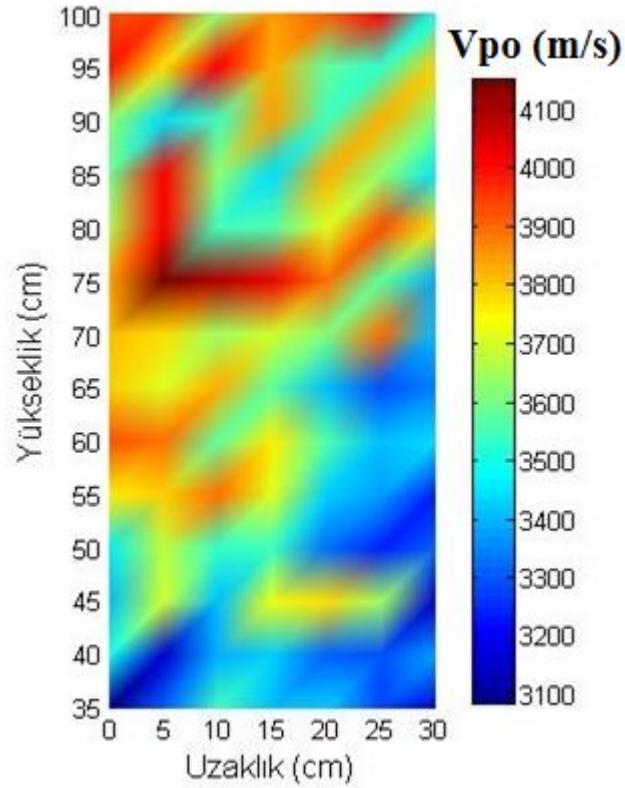
Düsey Mesafe (cm)	Yatay Mesafe (cm)						
	0	5	10	15	20	25	30
	Ultrasonik Hız Değerleri (m/s)						
35	2910	3100	3300	3190	3200	3080	2990
40	3250	2980	3170	3203	3105	3094	3159
45	3180	3420	3180	3450	3490	3380	2980
50	3230	3410	3280	3300	3120	3050	3100
55	3476	3510	3590	3440	3200	3161	3050
60	3610	3580	3320	3480	3310	3190	3220
65	3498	3440	3533	3328	3188	3090	3127
70	3512	3490	3380	3420	3350	3590	3190
75	3540	3794	3750	3690	3580	3320	3167
80	3400	3680	3290	3314	3430	3610	3490
85	3338	3674	3370	3210	3528	3362	3228
90	3370	3210	3300	3540	3290	3526	3350
95	3670	3494	3684	3528	3320	3280	3510
100	3617	3620	3360	3544	3602	3680	3260



Şekil 60. Model 1 ultrasonik hız haritası

Tablo 14. Model 1 'den elde edilen sıva düzeltmesi yapılmış ultrasonik hız değerleri

Düşey Mesafe (cm)	Yatay Mesafe (cm)						
	0	5	10	15	20	25	30
	Ultrasonik Hız Değerleri (m/s)						
35	3084	3307	3546	3414	3426	3284	3178
40	3486	3166	3390	3430	3313	3300	3377
45	3402	3690	3402	3727	3775	3642	3166
50	3462	3678	3522	3546	3331	3248	3307
55	3758	3800	3897	3715	3426	3380	3248
60	3922	3885	3570	3763	3558	3414	3450
65	3785	3715	3828	3579	3412	3296	3339
70	3802	3775	3642	3690	3606	3897	3414
75	3836	4149	4095	4020	3885	3570	3387
80	3666	4008	3534	3563	3702	3922	3775
85	3591	4001	3630	3438	3822	3620	3460
90	3630	3438	3546	3836	3534	3819	3606
95	3996	3780	4013	3822	3570	3522	3800
100	3931	3934	3618	3841	3912	4008	3498



Şekil 61. Model 1 sıva düzeltmesi yapılmış ultrasonik hız haritası

Kolonda ölçümlere 8. profil hattından başlanmasının sebebi, 8. profil hattının altında kalan kısımlardaki ıslaklıktan dolayı, 42 cm olan alıcı verici arası mesafede, yeterli enerjinin sağlanamamış olmasıdır.

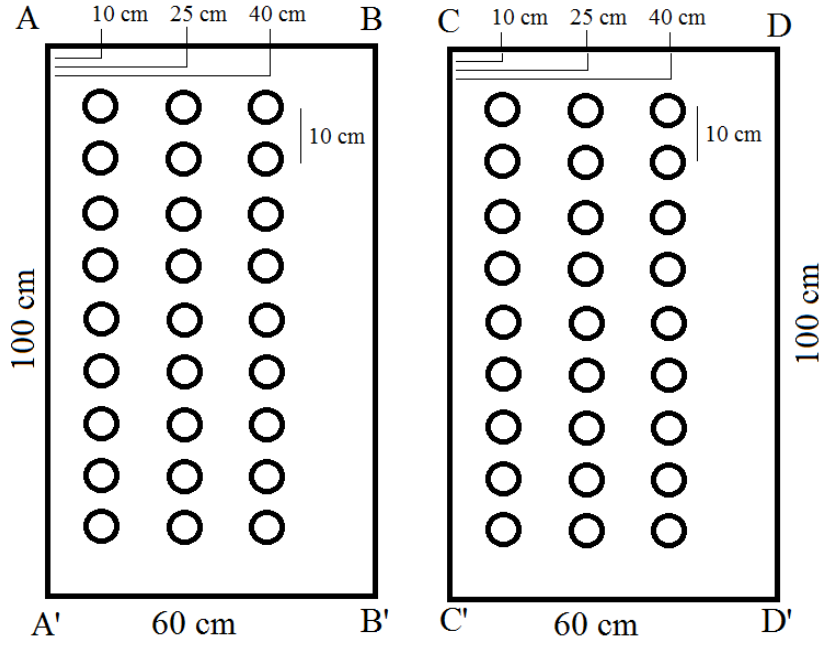
Ultrasonik yöntem ile elde edilen veriler Tablo 13'te incelenecek olursa maksimum V_p değerinin 3794 m/s, minimum V_p değerinin ise 2910 m/s olduğu görülmektedir. Ortalama hız değeri ise 3358 m/s'dir. Ortalama hız değerine göre değerlendirme yapılırsa, Tablo 5'deki dalga hızına bağlı beton kalite sınıflamasına göre "orta" kalite beton olduğu görülmektedir. Bölgesel yorum yapılırsa yatay 0-5 cm aralığında düşey 55 cm'in üst kısımlarında beton kalitesinin Tablo 5'e göre genellikle "iyi" kalite beton olduğu, diğer kısımların yer yer "iyi" ve "orta" kalite beton olduğu görülmektedir. Şekil 60'de hız haritasına bakılırsa bu değişimler net bir şekilde görülmektedir.

Ölçüm sonuçlarında sıvanın etkisi gözetenilerek düzeltme faktörü uygulanmış V_{po} değerleri Tablo 14'te incelenecek olursa maksimum V_{po} değerinin 4149 m/s, minimum V_{po} değerinin ise 3084 m/s olduğu görülmektedir. Ortalama hız değerinin ise 3617 m/s olduğu görülmektedir. Ortalama hız değerine göre değerlendirme yapılırsa, Tablo 5'deki dalga hızına bağlı beton kalite sınıflamasında Uyanık ve diğ. (2013) 'e göre "iyi" kalite beton olduğu görülmektedir. Bu sınıflama düşey 35-40 cm arası ve düşey 40-65 cm 'in yatayda 20-30 cm arasında kalan kısmı dışında hemen hemen tüm kesit için geçerlidir. Düşey 35-40 cm arası ve düşey 40-65 cm'in yatayda 20-30 cm arasında kalan kısmının genellikle "orta" kalite beton olduğu görülmektedir. Sıva düzeltmesinden sonra kolonun Şekil 61'de hız haritasına bakılırsa sıva düzeltmesiz hız haritasında olduğu gibi hız değişimleri net olarak görülmektedir.

Model 2 'de Şekil 49'da da gösterilen kolonda, verici AB kesitinde alıcı CD kesitinde karşılıklı olacak şekilde ölçümler yapılmıştır (Şekil 62). Ölçüm noktaları Şekil 63'de gösterilmiştir. Alıcı verici arası uzaklık 30 cm'dir. Bu modelden alınan ölçüm sonuçları Tablo 15'de gösterilmektedir. Oluşturulan ultrasonik hız haritası ise Şekil 64'de gösterilmiştir.



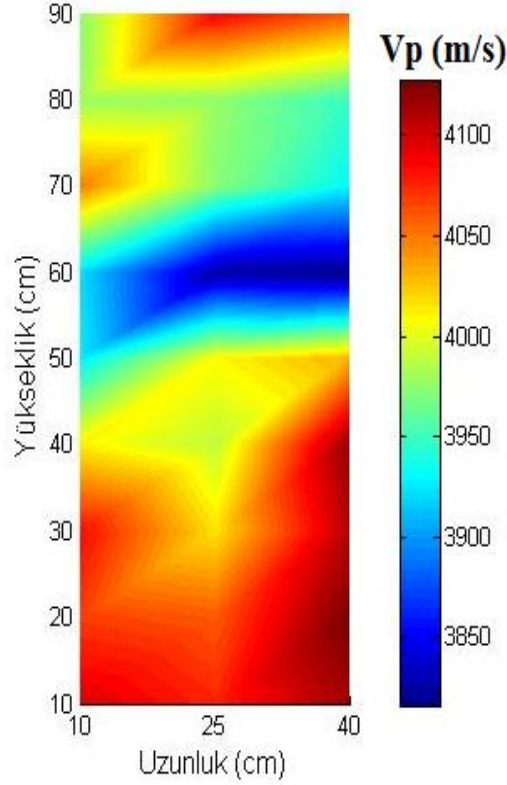
Şekil 62. Model 2 ultrasonik hız ölçümü



Şekil 63. Model 2 ultrasonik hız ölçüm noktaları

Tablo 15. Model 2 ultrasonik hız değerleri

Düşey Mesafe (cm)	Yatay Mesafe (cm)		
	10	25	40
	Ultrasonik Hız Değerleri (m/s)		
10	4096	4076	4115
20	4068	4059	4128
30	4084	4017	4109
40	4012	3989	4120
50	3926	4010	4032
60	3921	3826	3816
70	4048	3973	3931
80	3978	3976	3947
90	3973	4087	4059



Şekil 64. Model 2 ultrasonik hız haritası

Tablo 15’te verilen ölçüm sonuçları incelenecek olursa maksimum V_p değerinin 4128 m/s minimum V_p değerinin ise 3816 m/s olduğu görülmektedir. Ortalama hız değeri ise 4014 m/s olduğu görülmektedir. Ortalama hız değeri Tablo 5’deki dalga hızına bağlı beton kalite sınıflamasına göre “iyi” kalitede beton olduğu göstermektedir. Düşeyde 10-40 cm arasında V_p değerlerinin 3989-4128 m/s arasında, düşeyde 50-60 cm arasında V_p

değerlerinin 3816-4032 m/s arasında ve düşeyde 70-90 cm arasında ise V_p değerlerinin 3931-4087 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 64'te hız haritasında düşey 50-60 cm'deki V_p değerlerinin diğer kısımlara göre daha düşük olduğu net bir şekilde görülmektedir.

Model 3'te Şekil 53'de de görülen yatay betonarme yapının dik bir kırık olduğu gözlemlenen kısımda ultrasonik yöntem ile betonda oluşan çatlakları belirleyebilmek için verici prob sabit, alıcı prob hareketli olacak şekilde dalga geçiş süreleri ölçülmüştür. 2 profilden ölçüm alınmıştır. 1.profil çatlakı dik keserken, 2.profil çatlakı açı ile kesmektedir. 2 profilinde ilk noktasında verici prob sabit tutularak alıcı prob 2. noktadan başlayarak 5'er cm kaydırılarak 6'şar ölçüm yapılmıştır. Ölçüm noktaları ve çatlak Şekil 65'te görülmektedir. Ölçüm sonuçları Tablo 16' da verilmektedir. Profillerde 3. ölçümün yapıldığı 4. profil noktası çatlakın üzerindedir. Çatlak 75mm çapındaki PVC borunun yüzeye yakınlığı sebebiyle oluştuğu, 3.25-3.50 cm derinliğe sahip olduğu ve dik bir şekilde ilerlediği görülmektedir.



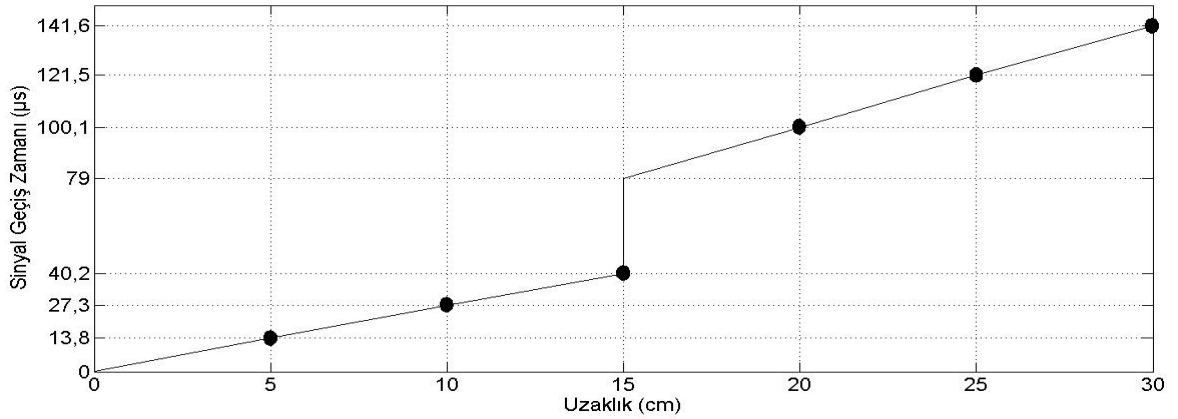
Şekil 65. Model 3 ultrasonik kırık-çatlak tespiti ölçüm profilleri

Tablo 16. Model 3 1.profil ve 2.profil dalga geçiş süreleri

Alıcı Verici Arası Mesafe (cm)	Dalga Geçiş Süresi (μ s)	
	1.Profil	2.Profil
5	13.8	18
10	27.3	28.4
15	40.2	41.2
20	100.1	96
25	121.5	116
30	141.6	127

Tablo 16’da 1. profilde ölçülen dalga geçiş sürelerine bakıldığında 1., 2. ve 3.ölçüm sonuçları sabit artış oranı ile ilerlerken kırığın bulunduğu 3.ölçüm noktasından sonraki ölçümlerden 4. ölçüm noktasında artış oranının arttığı, daha sonra 5. ve 6. ölçüm noktalarında oranın sabitlendiği görülmektedir. Aynı şekilde 2. profilde 1., 2. ve 3.ölçüm sonuçlarındaki belirli orandaki artışın 4. ölçüm noktasına gelindiğinde maksimuma ulaştığı daha sonra tekrar azaldığı görülmektedir.

Çatlak derinliği tespiti için profil 1 değerleri kullanılarak çizilen zaman uzaklık grafiği Şekil 66’da görülmektedir.



Şekil 66. Model 3 çatlaklı betonun zaman uzaklık grafiği

Şekil 30’da gösterilen zaman-uzaklık grafiğindeki X konumunda puls geçiş zamanları T_1 ve T_2 değerleri Şekil 66’dan alınacak olursa X, 15 cm, T_1 , 40.2 μ s ve T_2 ise 79 μ s’dir. Burada T_2 değeri, eğrinin 4., 5. ve 6. ölçüm sonuçlarındaki değişim miktarına göre kırık uzaklığı olan 4. profil noktasına yani 15 cm’e uzatılıp elde edilmiştir. Bu değerler (45) bağıntısında yerine yazılırsa, kırık derinliği olan h değeri 3.29 cm çıkmaktadır.

Ayrıca bu çalışma kapsamında oluşturulan 15x15x15cm küp beton numuneleri 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra önce ultrasonik yöntem uygulanıp ultrasonik hız tespiti yapılmıştır. Daha sonra basınç dayanım testi uygulanmıştır. Ölçümler 27 numune üzerinde yapılmıştır. Alıcı ve verici karşılıklı koyularak ölçü alınmıştır. Her numunede 2 ölçüm yapılmıştır. Ölçümler farklı kenarlardan yapılmıştır (Şekil 67).



Şekil 67. Küp numunelerde uygulanan testler

Numune bilgileri ile ultrasonik yöntem sonuçları ve basınç dayanım test sonuçları Tablo 17’de gösterilmiştir. Ayrıca ultrasonik yöntem ile elde ilen V_p hız değerlerinden (49) bağıntısı kullanılarak basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Bu değerler de f_c olarak Tablo 17’de gösterilmiştir.

Tablo 17. Ölçülen ultrasonik hız değerleri,basınç dayanım test sonuçları, numune bilgileri ve formülle hesaplanan basınç dayanım değerleri

Numune No	Numune Yaşı (gün)	Beton Sınıfı	Alan (cm ²)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (kg)	1.Ölçüm Vp (m/s)	2.Ölçüm Vp (m/s)	Ortalama Vp (m/s)	Kırılma Kuvveti (kN)	Basınç Dayanımı (Mpa)	$f_c=2.6*V_p^{1.8}$ (Mpa)
1	28	C25/30	225	3375	7,890	4310	4349	4329,5	832,5	37	36,35
2	28	C25/30	225	3375	7,921	4285	4260	4272,5	765	34	35,50
3	28	C25/30	225	3375	7,905	4340	4355	4347,5	877,5	39	36,63
4	28	C30/37	225	3375	8,024	4810	4710	4760	1035	46	43,12
5	28	C30/37	225	3375	7,952	4520	4612	4566	945	42	40,01
6	28	C30/37	225	3375	7,961	4690	4754	4722	967,5	43	42,50
7	28	C25/30	225	3375	7,943	4210	4201	4205,5	720	32	34,50
8	28	C25/30	225	3375	7,986	4120	4143	4131,5	675	30	33,42
9	28	C25/30	225	3375	7,928	4123	4110	4116,5	720	32	33,20
10	28	C25/30	225	3375	8,051	4249	4237	4243	765	34	35,06
11	28	C25/30	225	3375	8,027	4412	4360	4386	832,5	37	37,21
12	28	C25/30	225	3375	8,019	4249	4347	4298	855	38	35,88
13	28	C25/30	225	3375	7,874	4210	4120	4165	697,5	31	33,91
14	28	C25/30	225	3375	7,957	4108	3986	4047	720	32	32,20
15	28	C25/30	225	3375	7,863	4250	4225	4237,5	765	34	34,98
16	28	C25/30	225	3375	7,890	3968	4021	3994,5	720	32	31,45
17	28	C25/30	225	3375	7,891	4098	4087	4092,5	720	32	32,85
18	28	C25/30	225	3375	7,918	4210	4250	4230	787,5	35	34,86
19	28	C25/30	225	3375	7,888	4350	4280	4315	877,5	39	36,14
20	28	C25/30	225	3375	7,842	4450	4510	4480	945	42	38,66
21	28	C25/30	225	3375	7,885	4180	4120	4150	675	30	33,69
22	28	C25/30	225	3375	7,967	4467	4490	4478,5	922,5	41	38,64
23	28	C25/30	225	3375	7,900	4210	4189	4199,5	855	38	34,41
24	28	C25/30	225	3375	7,902	4290	4205	4247,5	832,5	37	35,12
25	28	C25/30	225	3375	7,883	3793	3817	4050	697,5	31	32,24
26	28	C25/30	225	3375	7,919	4087	4100	4093,5	765	34	32,87
27	28	C25/30	225	3375	7,901	3690	3723	3980	720	32	31,24

Küp numuneler üzerinde uygulanan ultrasonik yöntem değerleri Tablo 17’de incelenecek olursa, C25/30 beton sınıfındaki numunelerin, ortalama hız değerlerine göre değerlendirme yapılırsa Tablo 5’deki dalga hızına bağlı beton kalite sınıflamasına göre “iyi” kalitede olduğu ayrıca C30/37 beton sınıfındaki numunelerin ortalama hız değerlerine göre değerlendirme yapılırsa “çok iyi” kalitede olduğu görülmektedir. Tablo 17’de ultrasonik yöntemden sonra numunelere uygulanan basınç dayanım testi sonuçları ile ultrasonik yöntem sonucu elde edilen V_p hızından (49) bağıntısı kullanılarak elde edilen basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

2.4. Elektrik Özdirenç Yöntemi ile Yapılan Ölçümler ve Elde Edilen Veriler

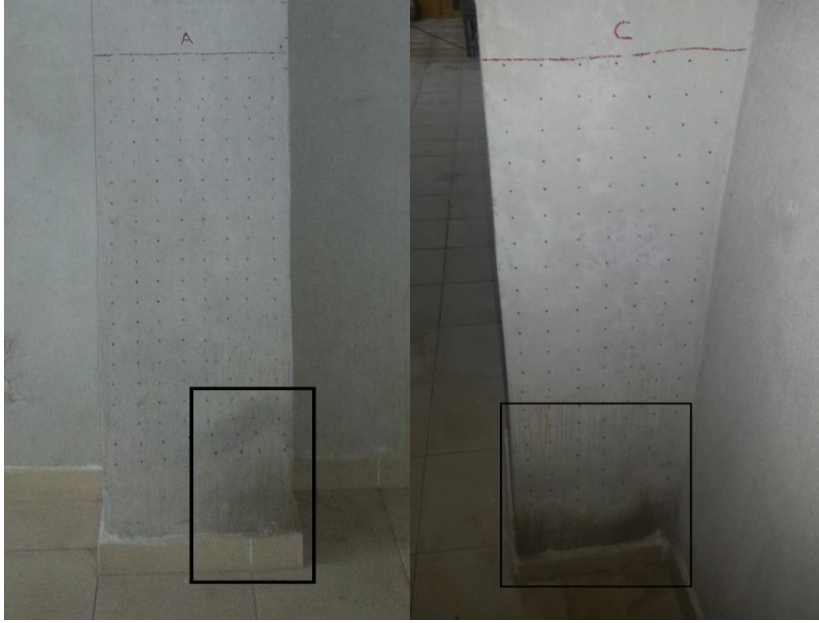
Çalışma kapsamında elektrik özdirenç yöntemi ile model 1, model 2 ve mevcut yapının tavan kısmında ölçümler yapılmıştır.

Model 1’de Şekil 47’de de gösterilen kolonun A, B ve C kesitlerinden ölçüm alınmıştır. Ölçümlerde kullanılan profil hatları daha önce Şekil 48’de gösterilmiştir. Profil hatlarında ölçümlere profilin 1.noktasından başlanmış ve cihaz 5’er cm kaydırılarak ölçüm alınmıştır. Elektrik özdirenç ölçüm cihazı ve ölçü alımı Şekil 68’de görülmektedir.



Şekil 68. Model 1 üzerindeki elektrik özdirenç ölçümleri

Model 1’de kolon kesitlerinin alt kısımlarda ıslaklık görülmektedir. Suyun kolona giriş yerinin C kesitinin alt kısımları olduğu gözlemlenmektedir. A kesitinin de alt kısımlarında özellikle C kesiti yönünde betonda ıslaklık gözlemlenmektedir (Şekil 69).

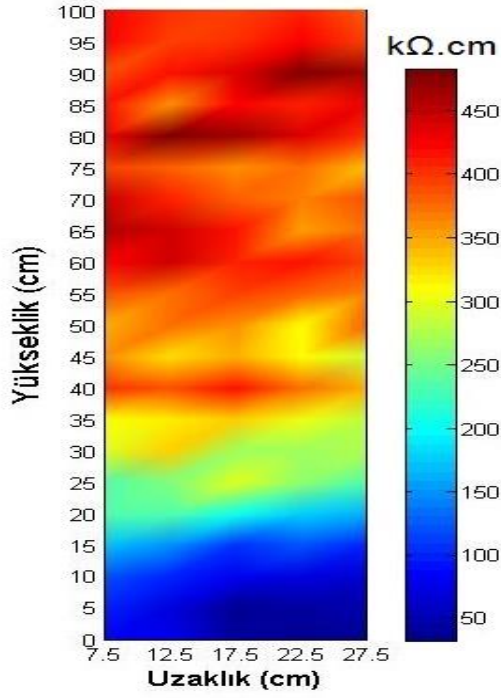


Şekil 69. A ve C kesitlerinde ıslaklık görülen kısımlar

Model 1 A kesitinde 1 profil hattında 5 ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 18’de gösterilmiştir. Oluşturulan elektrik özdirenç haritası ise Şekil 70’de gösterilmiştir.

Tablo 18. A kesiti üzerinden alınan elektrik özdirenç ölçüm sonuçları

A Kesiti					
Profil No	Ölçüm Noktaları				
	7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm	22.5 cm	30 cm
Elektrik Özdirenç Değerleri (k Ω .cm)					
1	82	78	42	32	37
2	96	73	39	40	48
3	121	96	78	73	66
4	168	145	105	118	102
5	232	229	201	178	160
6	230	253	295	257	235
7	298	328	265	267	274
8	309	317	328	303	280
9	402	390	414	376	348
10	362	327	344	310	286
11	342	371	360	312	379
12	389	376	397	380	369
13	419	444	405	412	397
14	460	441	412	353	376
15	444	405	383	364	386
16	396	382	360	374	341
17	426	482	465	438	398
18	412	360	424	409	426
19	386	414	436	478	465
20	419	397	401	422	394
21	421	402	396	409	380



Şekil 70. Model 1 için A kesitinden alınan ölçümlerden oluşturulan elektrik özdirenç haritası

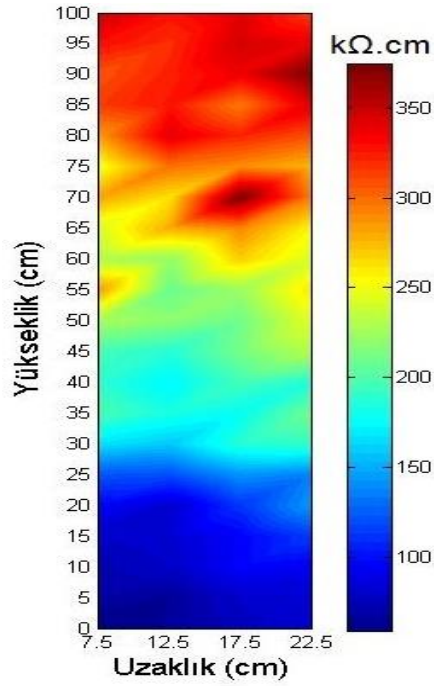
Model 1 A kesitinin Tablo 18’de gösterilen elektrik özdirenç değerlerinin taban kısımlarında özellikle de 1., 2. ve 3. profil hatlarında düşük olduğu görülmektedir. 1. ve 2. profil hatlarının 3., 4. ve 5. ölçüm noktasındaki değerlerinin 32 ile 48 kΩ.cm arasında değiştiği ve Tablo 7’ye göre bu ölçüm noktalarında korozyon risk derecesi “orta dereceli korozyon riski” olarak görülmektedir. Kesitin 1. ve 2. profil hatlarının ilk 2 ölçüm noktası ile 3. profil hattının 2., 3., 4. ve 5. ölçüm noktalarında özdirenç değerleri 66 ile 96 kΩ.cm arasında değişmektedir. Tablo 7’ye göre korozyon risk derecesi “düşük korozyon riski” olarak görülmektedir. 4. profil hattından itibaren kolonun üst kısmına doğru çıktıkça özdirenç değerleri yükseldiği görülmektedir. 4. profil hattı ile 21. profil hattı arasında korozyon risk derecesi Tablo 7’ye göre “ihmal edilebilir korozyon riski” olarak görülmektedir. Özdirenç değerleri 5. ve 6. profil hatlarında 250 kΩ.cm seviyelerine daha üstteki profillerde 400 kΩ.cm seviyelerine çıkmaktadır.

Model 1 A kesiti elektrik özdirenç haritasına bakılacak olursa kesitin üst kısımlarında özdirenç değerlerinin yüksek olduğu alta doğru inildikçe değerlerin azaldığı özellikle düşeyde 15 cm’den aşağıda özdirenç değerlerinin en düşük değerleri aldığı görülmektedir.

Model 1 B kesitinde 1 profil hattında 4 ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 19’da gösterilmiştir. Elektrik özdirenç haritası ise Şekil 71’de gösterilmiştir.

Tablo 19. B kesiti elektrik özdirenç ölçüm sonuçları

B Kesiti				
Profil No	Ölçüm Noktaları			
	7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm	22.5 cm
Elektrik Özdirenç Değerleri (k Ω .cm)				
1	59	65	76	85
2	67	64	80	84
3	72	79	96	93
4	80	83	95	114
5	96	81	112	144
6	122	120	142	136
7	167	159	187	191
8	199	183	177	210
9	189	172	196	187
10	196	187	212	232
11	228	219	210	246
12	285	208	223	262
13	229	220	269	243
14	243	280	292	256
15	282	262	375	294
16	249	298	289	276
17	285	342	322	309
18	315	327	295	342
19	307	323	338	374
20	330	319	347	339
21	350	328	341	316



Şekil 71. Model 1 B kesiti elektrik özdirenç haritası

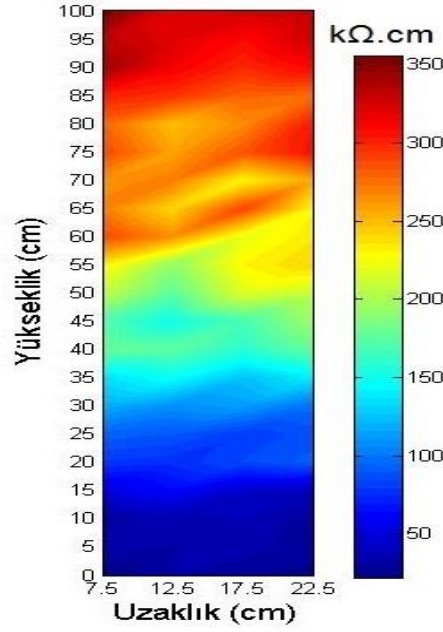
Model 1 B kesitinin Tablo 19’da gösterilen elektrik özdirenç değerleri 1. ve 5. profil hatları arasında yani kolonun taban kısımlarında genellikle 59 ile 96 k Ω .cm arasında değişmektedir. Tablo 7’ye göre korozyon risk derecesi “düşük korozyon riski” olarak görülmektedir. 6. ve 10. profil hatları arasında özdirenç değerleri 120 ile 232 k Ω .cm arasında, 11. ve 21. profil noktaları arasında ise 208 ile 375 k Ω .cm arasında değişmektedir. 6. ve 21. profil hatları arasında korozyon risk derecesi Tablo 7’ye göre “ihmal edilebilir korozyon riski” olarak görülmektedir.

Model 1 B kesiti elektrik özdirenç haritasına bakılacak olursa kesitin üst kısımlarında özdirenç değerlerinin yüksek olduğu alta doğru inildikçe değerlerin azaldığı özellikle 20 cm’den aşağıda özdirenç değerlerinin 100 k Ω .cm’den az olduğu görülmektedir.

Model 1 C kesitinde 1 profil hattında 4 ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 20’de gösterilmiştir. Elektrik özdirenç haritası ise Şekil 72’de gösterilmiştir.

Tablo 20. C kesiti elektrik özdirenç ölçüm sonuçları

C Kesiti				
Profil No	Ölçüm Noktaları			
	7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm	22.5 cm
Elektrik Özdirenç Değerleri (k Ω .cm)				
1	22	33	28	25
2	35	32	35	30
3	30	36	38	29
4	53	63	44	39
5	79	76	85	92
6	93	90	81	87
7	119	109	113	98
8	136	147	125	139
9	180	176	159	178
10	171	150	168	196
11	209	176	218	210
12	232	192	231	242
13	289	265	221	235
14	270	241	290	230
15	263	271	230	256
16	289	258	285	307
17	278	249	266	304
18	302	295	279	276
19	342	314	298	310
20	332	321	309	327
21	356	319	326	332



Şekil 72. Model 1 C kesiti elektrik özdirenç haritası

Model 1 C kesitinin Tablo 20’de gösterilen elektrik özdirenç değerlerinin 1. ve 4. profil hatları arasında yani kolonun taban kısımlarında genellikle 22 ile 50 kΩ.cm arasında değişmektedir. Tablo 7’ye göre korozyon risk derecesi “orta dereceli korozyon riski” olarak görülmektedir. 5. ve 6. profil noktaları arasında özdirenç değerleri 76 ile 93 kΩ.cm arasında değişmektedir. Korozyon risk derecesi “düşük korozyon riski” olarak görülmektedir. 7. ve 10. profil noktaları arasında özdirenç değerleri genellikle 109 ile 196 kΩ.cm arasında değişmektedir. 11. ve 21. profil noktaları arasında özdirenç değerleri genellikle 209 ile 356 kΩ.cm arasında değişmektedir. 7.profil noktası ve sonrasında korozyon risk derecesi “ihmal edilebilir korozyon riski” olarak görülmektedir.

Model 1 C kesiti elektrik özdirenç haritasına bakılacak olursa kesitin düşeyde 60 cm ve üstünde özdirenç değerlerinin 250 ile 350 kΩ.cm arasında olduğu, daha sonra kesitte aşağıya doğru inildikçe özdirenç değerlerinin 150 kΩ.cm seviyelerine düştüğü, 15 cm ’in altında ise 50 kΩ.cm ve aşağısına düştüğü görülmektedir.

Model 1 A, B ve C kesitlerinin Tablo 8’e göre korozyon oranına bakacak olursak “düşük korozyon oranı” görülmektedir.

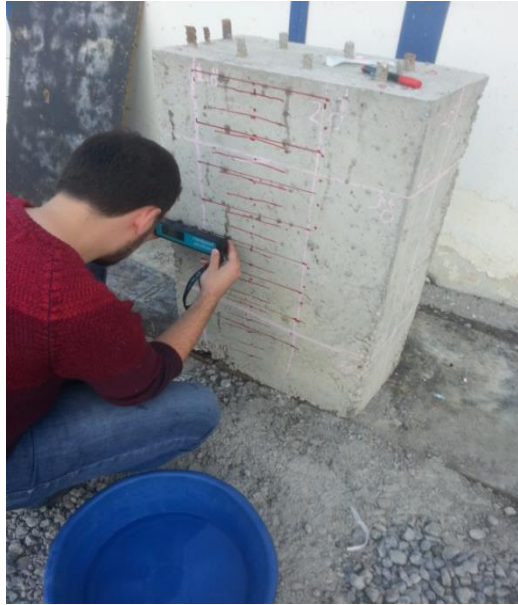
Elektrik özdirenç ölçümlerinde sıvanın etkisini görmek için kolonun B kesitinin üst kısmında sıva kazınarak ölçüm yapılmıştır. Daha sonra sıvası kazınan yerin hemen yanında sıvalı yerde ölçüm yapılmıştır. Sıvasız yerde özdirenç değeri 210 kΩ.cm iken sıvalı yerde ise 366 kΩ.cm olarak ölçülmüştür (Şekil 73).



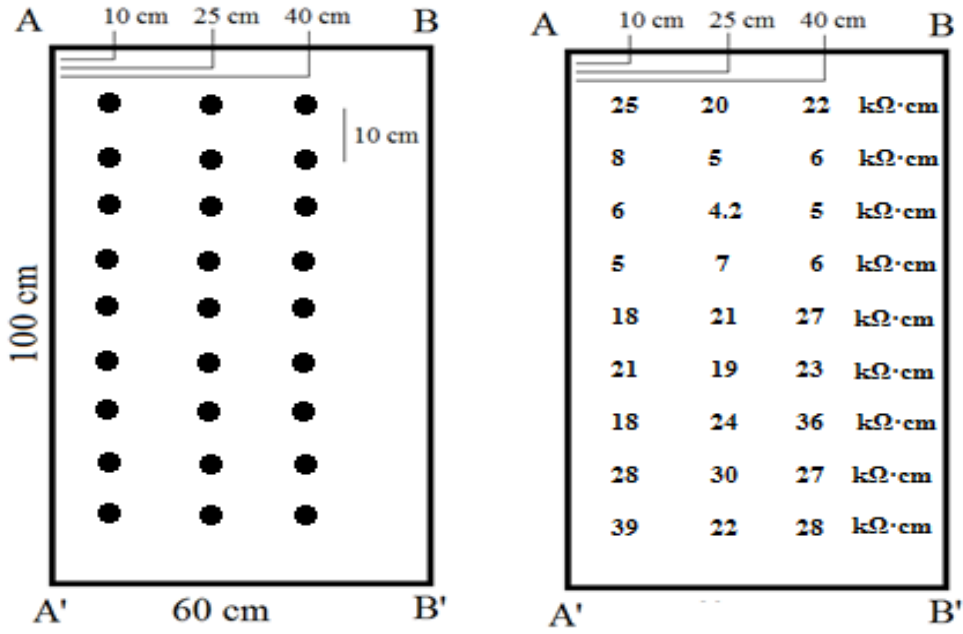
Şekil 73. Sıvalı ve sıvasız yerde ölçüm

Buradan görüldüğü gibi yorumlamalarda sıva etkisinin de göz önünde bulundurularak yorum yapılması gerekmektedir. Bu etki düşünüldüğünde A kesitinde 4. profilin 3., 4. ve 5. ölçüm noktalarında göre korozyon risk derecesi de “düşük korozyon riski” olarak yorumlanabilir. B kesitinde 6. profilin de korozyon risk derecesi “düşük korozyon riski” olarak yorumlanabilir. C kesitinde 7. ve 8. profillerin de korozyon risk derecesi “düşük korozyon riski” olarak yorumlanabilir.

Model 2 'de ölçümler AB kesitinde yapılmıştır (Şekil 74). Ölçüm yerleri ve sonuçları Şekil 75'de görülmektedir.



Şekil 74. Model 2 AB kesiti elektrik özdirenç ölçümü



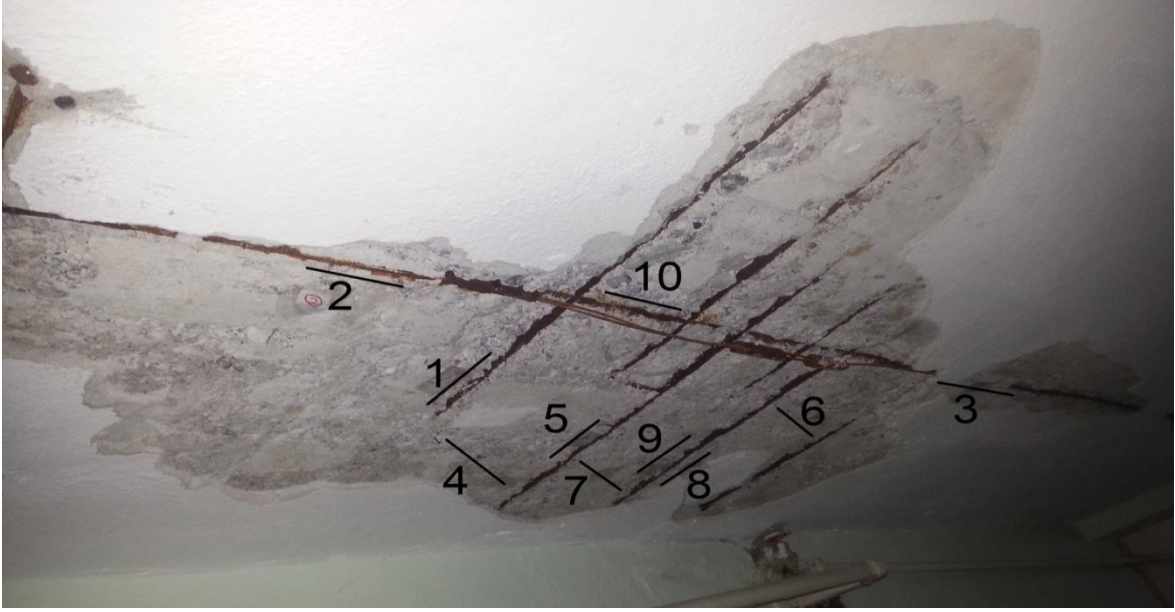
Şekil 75. Model 2 AB kesiti elektrik özdirenç ölçüm noktaları ve ölçüm sonuçları

Model 2’de AB kesitinde özdirenç ölçüm noktaları ve sonuçları Şekil 75’de gösterilmiştir. Özdirenç değerlerinin 5 ve 39 kΩ.cm arasında değiştiği görülmektedir. Yapının çalışma kapsamında oluşturulmuş 45 günlük beton numunesi olduğu düşünülürse bu sonuçlar ile yapının korozyon durumu hakkında yorum yapılması doğru olmayacaktır. Burada betonun ıslaklığının etkisi görülmektedir.

Jeofizik Mühendisliği Bölümü zemin katta onarım yapılmakta olan yerin tavan kısmında elektrik özdirenç ölçümleri yapılmıştır. Tavanda ölçüm alınan bölge Şekil 57’de gösterilmiştir. Tavanda yapılan elektrik özdirenç ölçümü Şekil 76’ da gösterilmiştir. Ölçüm noktaları ve doğrultuları Şekil 77’de gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 21’de gösterilmiştir.



Şekil 76. Tavanda elektrik özdirenç ölçümü



Şekil 77. Ölçüm noktaları ve doğrultuları

Tablo 21. Tavanda yapılan elektrik özdirenç ölçüm sonuçları

Ölçüm Numarası	Elektrik Özdirenç Değerleri (k Ω .cm)
1	75
2	7.1
3	60
4	89
5	20
6	98
7	65
8	40
9	48
10	6.9

Tablo 21’de bu ölçüm noktalarındaki ölçülen özdirenç değerlerine bakılacak olursa;

- 1. ölçüm noktası donatının yan kısmında ve donatıya paraleldir. Donatı ile arasındaki mesafe 5 cm’dir. Ölçülen özdirenç değeri 75 k Ω .cm’dir. Burada Tablo 7’ye göre yorum yapılacak olursa “ düşük korozyon riski” görülmektedir.
- 2. ölçüm noktası donatının yan kısmında ve donatıya paraleldir. Donatı ile arasındaki mesafe 2 cm’dir. Ölçülen özdirenç değeri 7.1 k Ω .cm’dir. Burada Tablo 7’ye göre yorum yapılacak olursa “ yüksek korozyon riski” görülmektedir.
- 3. ölçüm noktası donatının yan kısmında ve donatıya paraleldir. Donatı ile arasındaki mesafe 4 cm’dir. Ölçülen özdirenç değeri 60 k Ω .cm’dir. Burada Tablo 7’ye göre yorum yapılacak olursa “ düşük korozyon riski” görülmektedir.

- 4. ölçüm noktası donatının üst kısmında ve donatıya diktir. Ölçülen özdirenç değeri 89 k Ω .cm 'dir. Burada Tablo 7'ye göre yorum yapılacak olursa “ düşük korozyon riski” görülmektedir.
- 5. ölçüm noktası donatının yan kısmında ve donatıya paraleldir. Donatı ile arasındaki mesafe 3 cm'dir. Ölçülen özdirenç değeri 20 k Ω .cm 'dir. Burada Tablo 7'ye göre yorum yapılacak olursa “orta dereceli korozyon riski” görülmektedir.
- 6. ölçüm noktası 2 donatının arasındadır. Ölçülen özdirenç değeri 98 k Ω .cm'dir. Burada Tablo 7'ye göre yorum yapılacak olursa “düşük korozyon riski” görülmektedir.
- 7. ölçüm noktası 2 donatının arasındadır. Ölçülen özdirenç değeri 65 k Ω .cm'dir. Burada Tablo 7'ye göre yorum yapılacak olursa “düşük korozyon riski” görülmektedir.
- 8. ölçüm noktası donatının yan kısmında ve donatıya paraleldir. Donatı ile arasındaki mesafe 4 cm'dir. Ölçülen özdirenç değeri 40 k Ω .cm'dir. Burada Tablo 7'ye göre yorum yapılacak olursa “ orta dereceli korozyon riski” görülmektedir.
- 9. ölçüm noktası 8.ölçüm notasının karşısında, donatının yan kısmında ve donatıya paraleldir. Donatı ile arasındaki mesafe 5 cm'dir. Ölçülen özdirenç değeri 48 k Ω .cm'dir. Burada Tablo 7'ye göre yorum yapılacak olursa “ orta dereceli korozyon riski” görülmektedir.
- 10. ölçüm noktası donatının yan kısmında ve donatıya paraleldir. Donatı arasındaki mesafe 2 cm'dir. Ölçülen özdirenç değeri 6.9 k Ω .cm'dir. Burada Tablo 7'ye göre yorum yapılacak olursa “ yüksek korozyon riski” görülmektedir.

Ölçüm sonuçlarında donatılara 2 cm'lik mesafelerde yapılan 2. ve 10. ölçümlerde “yüksek korozyon riski” oluştuğu, 3 cm mesafede yapılan 5.ölçümde, 4cm mesafede yapılan 8. ölçüm ve 5 cm mesafede yapılan 9. ölçüm “orta dereceli korozyon riski” oluştuğu görülmektedir. Donatılardan uzaklaştıkça özdirenç değerlerinin arttığı görülmektedir.

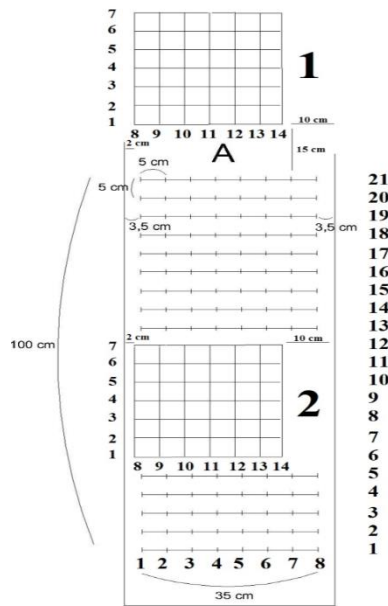
20 k Ω .cm ve daha düşük özdirenç değerlerinin ölçüldüğü 2., 5. ve 10. ölçüm noktalarında Tablo 8'e göre korozyon oranı incelenecek olursa, 2. ve 10. ölçüm noktalarında “yüksek korozyon oranı”, 5. ölçüm noktasında “düşük ile orta arası korozyon oranı” yorumu yapılabilir.

2.5. Yer Radarı Yöntemi ile Yapılan Ölçümler ve Elde Edilen Veriler

Bu çalışma kapsamında yer radarı yöntemi ile model 1, model 2 ve model 3 üzerinde çeşitli ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerdeki amaç boyuna donatı, etriye, paspayı ve PVC boru tespitidir. Ölçülen veriler daha sonra bilgisayar ortamında RADAN7 yazılımı ile incelenmiştir. Önceki kısımlarda da belirtildiği gibi veriler açılırken Time Zero Correction (Sıfır Kayma Zamanı Düzeltmesi), Filtering (Filtreleme) ve Focus (Migration-Göç) yapılarak açılmaktadır. Bunların dışında verilerde sadece gain (kazanç) değerleri ve dielektrik değerleri (buna bağlı hız değerleri) değiştirilerek net görüntü elde edilmeye çalışılmıştır. Genellikle gain değerleri 20, 40 ve 60 kullanılmıştır.

Önce Model 1’de Şekil 47’de de gösterilen kolonun A kesitinden ölçüm alınmıştır. Ölçümler A kesitinin 2 farklı kısımdan 3 boyutlu görüntü elde etmek için yapılmıştır. X ekseninde (yatay) 7 ve y ekseninde (düşey) 7 olmak üzere toplamda 14 profil hattından ölçüm alınmıştır. Profiler arası uzaklık 5 cm’dir. 30x30 cm’lik grid boyutu kullanılmıştır. Ayrıca A kesitinden 2 boyutlu ölçüm yapılmıştır.

Model 1 üzerinde 3 boyutlu ölçümler 2 kısımda yapılmıştır. 1.kısım yatay profiller 21. profil hattının 15 cm üstünden ve düşey profiller 21. profil hattının 1. profil noktasının 1.5 cm solundan başlamaktadır. 2. kısım yatay profiller 6. profil noktası üzerinden ve düşey profiller düşey 6.profil hattında 1. profil noktasının 1.5 cm solundan başlamaktadır. 1. ve 2. kısım profil hatları Şekil 78’de 1 ve 2 olarak gösterilmiştir. Ölçüm alma işlemi Şekil 79’da gösterilmiştir.

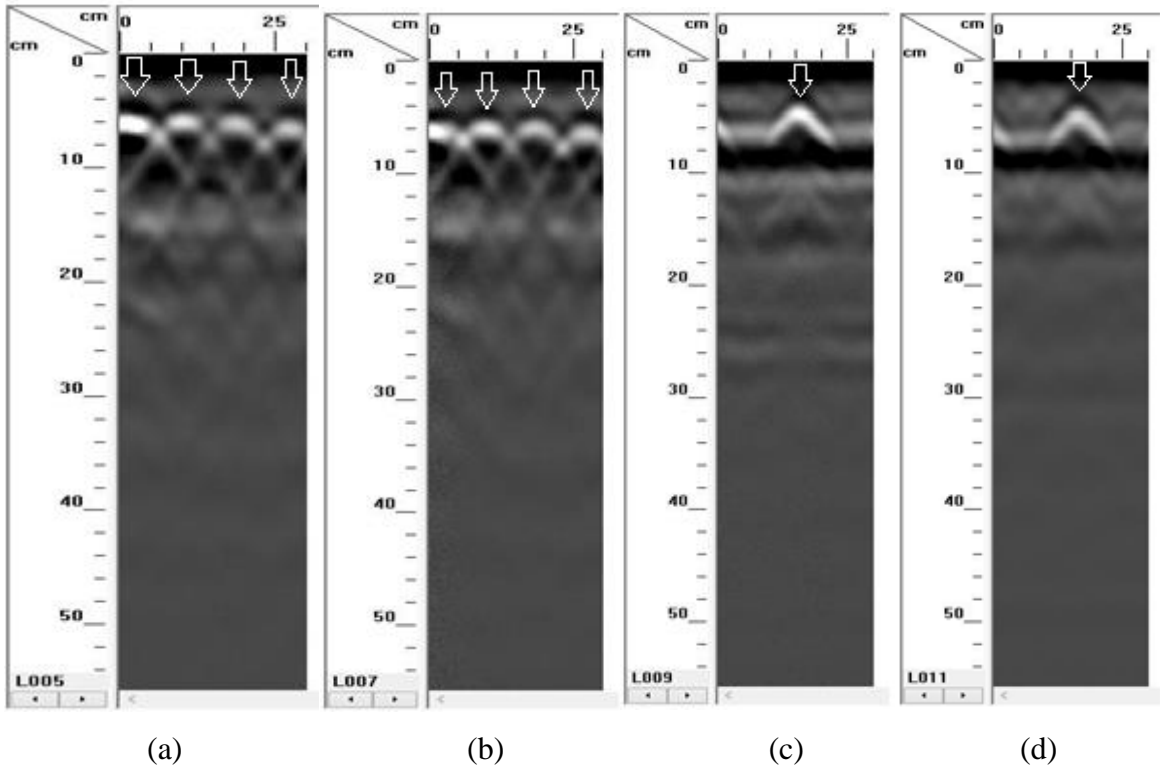


Şekil 78. Yer radarı Model 1 1. kısım ve 2. kısım profil hatları

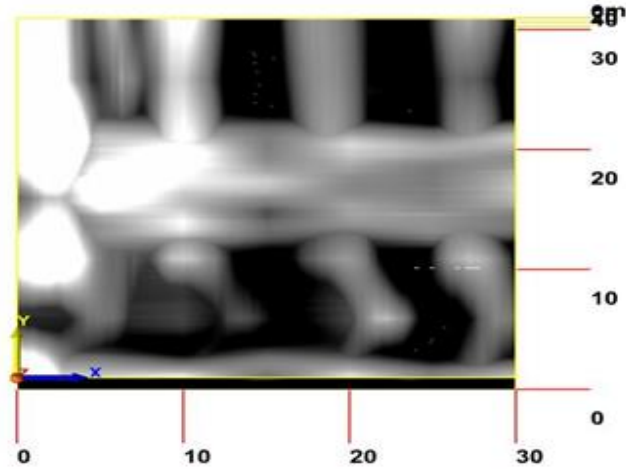


Şekil 79. Yer radarı Model 1 3 boyutlu ölçümünden bir görünüm

Şekil 80'de 1.kısımda yatay ve düşey yönde 2'şer profil hattının ölçümler sonucu oluşturulan radargramları gösterilmiştir. Şekil 81'de 1.kısım derinliğin (z ekseninin) 4,43 cm'deki görüntüsü gösterilmiştir. Yatay radargramlarda boyuna donatılar düşey radargramlarda etriyeler (enine donatı) ok işaretleri ile gösterilmiştir.



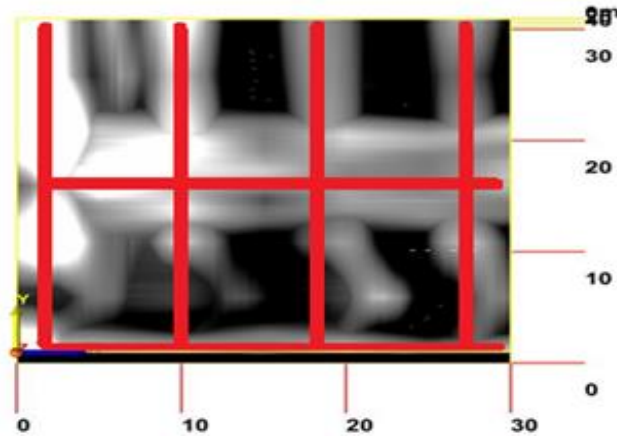
Şekil 80. Model 1 1.kısım yatay ve düşey profillerin radargramları a) 5. profil yatay b) 7. profil yatay c) 9. profil düşey d) 11. profil düşey



Şekil 81. Model 1 1.kısım 3B gösteriminin $z=4.43$ cm'deki üstten görünümü

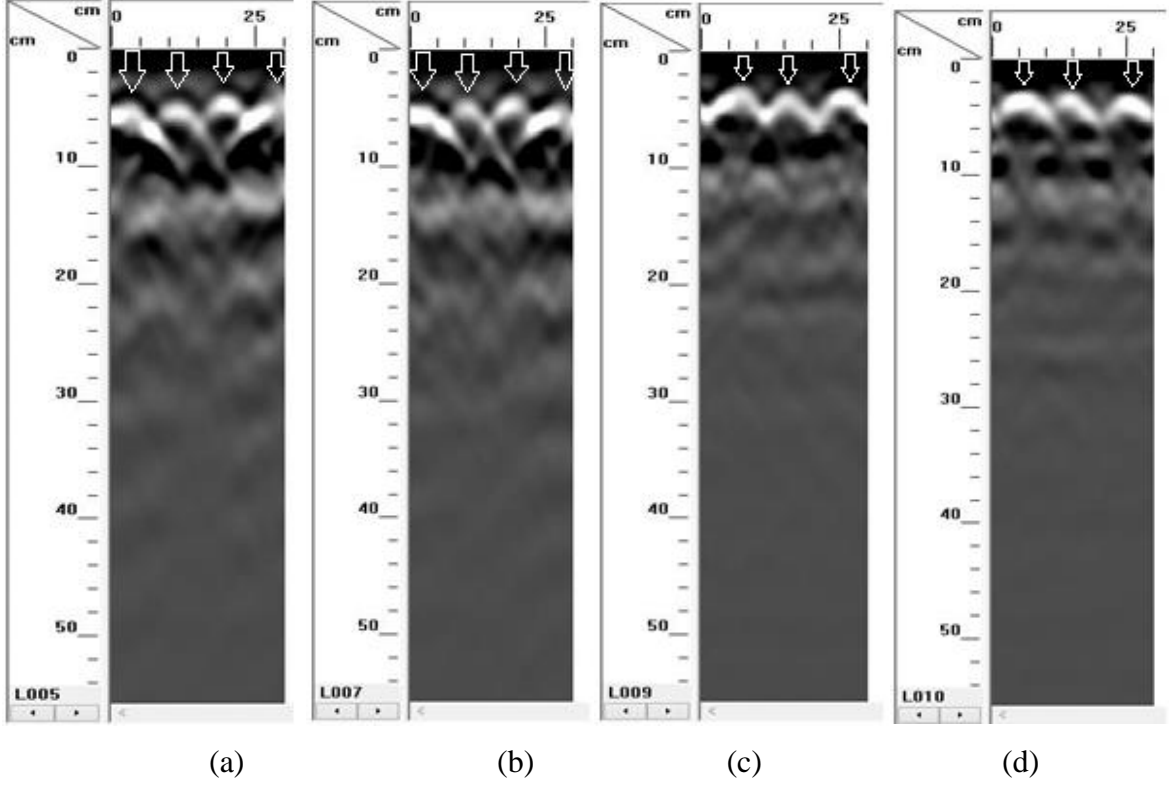
Şekil 80'deki radargramlar incelenecek olursa, 5. ve 7. yatay profil radargramlarında 4 adet boyuna donatı görülmektedir. Derinlikleri yaklaşık olarak 4 cm'dir. Bu mesafe aynı zamanda paspayıdır. Donatıların buldukları yerler ise yatay profil hattı yönünde 2.5 cm, 10 cm, 18 cm ve 28 cm'dedir. 9. ve 11. düşey profil radargramlarında 3.5 cm derinlikte 1 adet etriye (enine donatı) görülmektedir. Bu mesafe de etriyeli kısımlardaki paspayıdır. Bulduğu yer ise düşey profil hattı yönünde 16 cm'dedir. Ayrıca düşey profil hatlarının alt kısmında bulunan etriyenin etkisi de radargramlarda görülmektedir.

Şekil 81'de 3B'lu görünümün $z=4.43$ deki görüntüsü incelenecek olursa boyuna donatılar ve etriyeler belirgin şekilde görülmektedir. Düşey profil hatlarının alt kısmında bulunan etriyenin etkisi burada da görülmektedir. Şekil 82'de boyuna donatılar ve etriyeler işaretlenip gösterilmiştir.

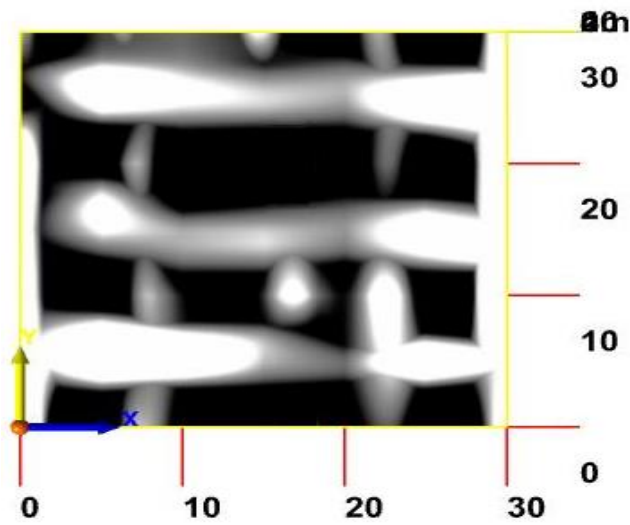


Şekil 82. Model 1 1.kısım 3B'lu gösteriminin $z=4.43$ cm'de üstten görünümünde boyuna donatılar ve etriye

Şekil 83'de 2.kısımda yatay ve düşey 2'şer profil hattının ölçümler sonucu oluşturulan radargramları gösterilmiştir. Şekil 84'de 2.kısım derinliğinin (z ekseninin) 3,31 cm'deki görüntüsü gösterilmiştir. Yatay radargramlarda boyuna donatılar düşey radargramlarda etriyeler ok işaretleri ile gösterilmiştir.



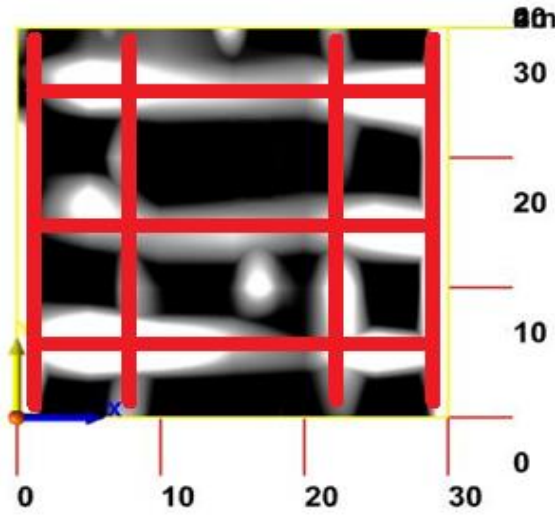
Şekil 83. Model 1 2.kısım yatay ve düşey profillerin radargramları a) 5. profil yatay b) 7. profil yatay c) 9. profil düşey d) 10. profil düşey



Şekil 84. Model 1 2.kısım 3B gösteriminin $z=3,31$ cm'deki üstten görünümü

Şekil 83'deki radargramlarda incelenecek olursa 5. ve 7. yatay profil radargramlarında 4 adet boyuna donatı görülmektedir. Derinlikleri yaklaşık olarak 3 cm'dir. Bu mesafe aynı zamanda paspayıdır. Donatıların buldukları yerler ise yatay profil hattı yönünde 3 cm, 9 cm, 21 cm ve 28 cm'dedir. 9. ve 10. düşey profil radargramlarında yaklaşık 2.5 cm derinlikte 3 adet etriye (enine donatı) görülmektedir. Bu mesafe de etriyeli kısımlardaki paspayıdır. Buldukları yerler ise düşey profil hattı yönünde 6 cm, 16 cm ve 26 cm'dedir.

Şekil 84'te 3B'lu görünümün $z=3.31$ deki görüntüsü incelenecek olursa boyuna donatı ve etriyeler belirgin şekilde görülmektedir. Şekil 85'te boyuna donatı ve etriyeler işaretlenip gösterilmiştir.

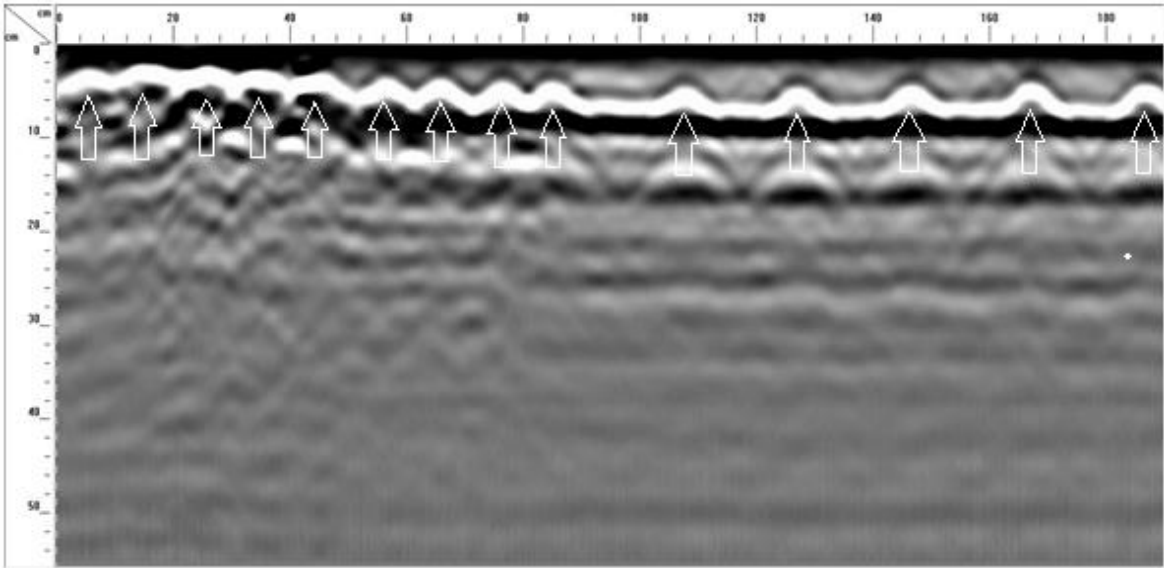


Şekil 85. Model 1 2.kısım 3B'lu gösteriminin $z=3.31$ cm'de üstten görünümünde boyuna donatı ve etriyeler

3B'lu ölçümlerin dışında A kesitinden 2B'lu ölçüm yapılmış ve etriye aralıkları belirlenmesi amaçlanmıştır (Şekil 86). Ölçüme yatay olarak 2. profil hattı üzerinden ve düşey olarak 2. profil hattının 7. profil noktasından ölçü alınacak şekilde alet konumlandırılarak başlanmıştır. Düşey yönde 190 cm ilerlenerek ölçüm tamamlanmıştır. Ölçüm sonucu elde edilen radargram Şekil 87'de gösterilmiştir.



Şekil 86. Model 1 A kesiti düşey ölçüm

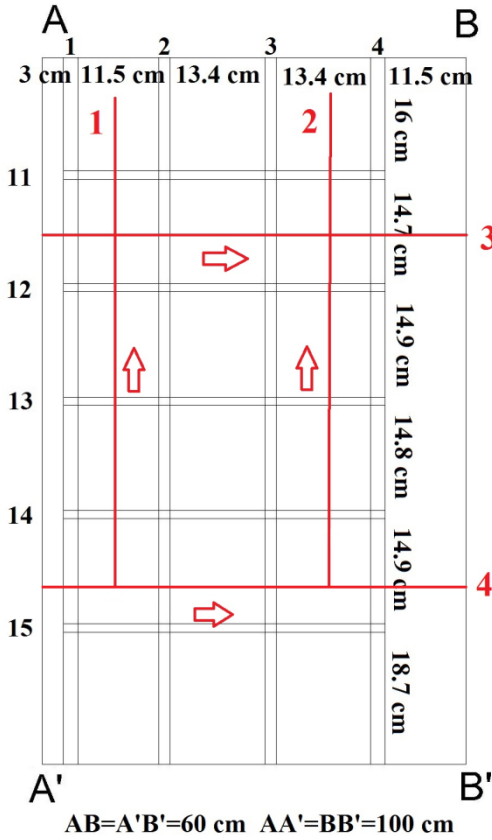


Şekil 87. Model 1 A kesiti düşey ölçümden elde edilmiş radargram

Şekil 87'de gösterilen radargramda 14 adet etriye görülmekte olup etriye aralıklarının özellikle düşeyde doğrultuda 85 cm'den sonra değiştiği görülmektedir. 85 cm'e kadar 9-12 cm arasında değişen etriye aralıkları 85 cm'den sonra 20 cm'e çıktığı görülmektedir. Etriyelerin derinlikleri 2-4 cm arasında değişmektedir. Bu mesafe aynı zamanda etriyelerin paspaylarıdır.

Model 2’de boyuna donatı ve etriyelerin belirlenmesi amacıyla 2B’lu ve 3B’lu görüntüler elde etmek için ölçümler yapılmıştır. Model 2 kolon kalıbı kesitleri Şekil 51 ’de gösterilmiştir. Model 2’de kalıp boyu 100 cm’dir. Beton 96 cm dökülüp üst kısımda 4 cm boşluk bırakılmıştır.

AB kesitinde 2B’lu 2 yatay ve 2 düşey ölçüm yapılmıştır. Profil numaraları, profil hatları ve profil yönleri Şekil 88’de gösterilmiştir. 1. ölçüm düşey olarak yapılmıştır. AA’ kesitinin 10 cm sağından ve A’B’ kesitinin 25 cm üstünden başlanmıştır. Ölçüm mesafesi 70 cm’dir. 2. Ölçüm de düşey olarak yapılmıştır. Ölçüme BB’ kesitinin 20 cm solundan ve A’B’ kesitinin 25 cm üstünden başlanmıştır. Ölçüm mesafesi 70 cm’dir. 3. ölçüm yatay olarak ve AB kesitinin 25 cm altından yapılmıştır. Ölçüm mesafesi 60 cm’dir. 4. ölçüm de yatay olarak ve A’B’ kesitinin 25 cm üstünden ölçüm yapılmıştır. Ölçüm mesafesi 60 cm’dir.



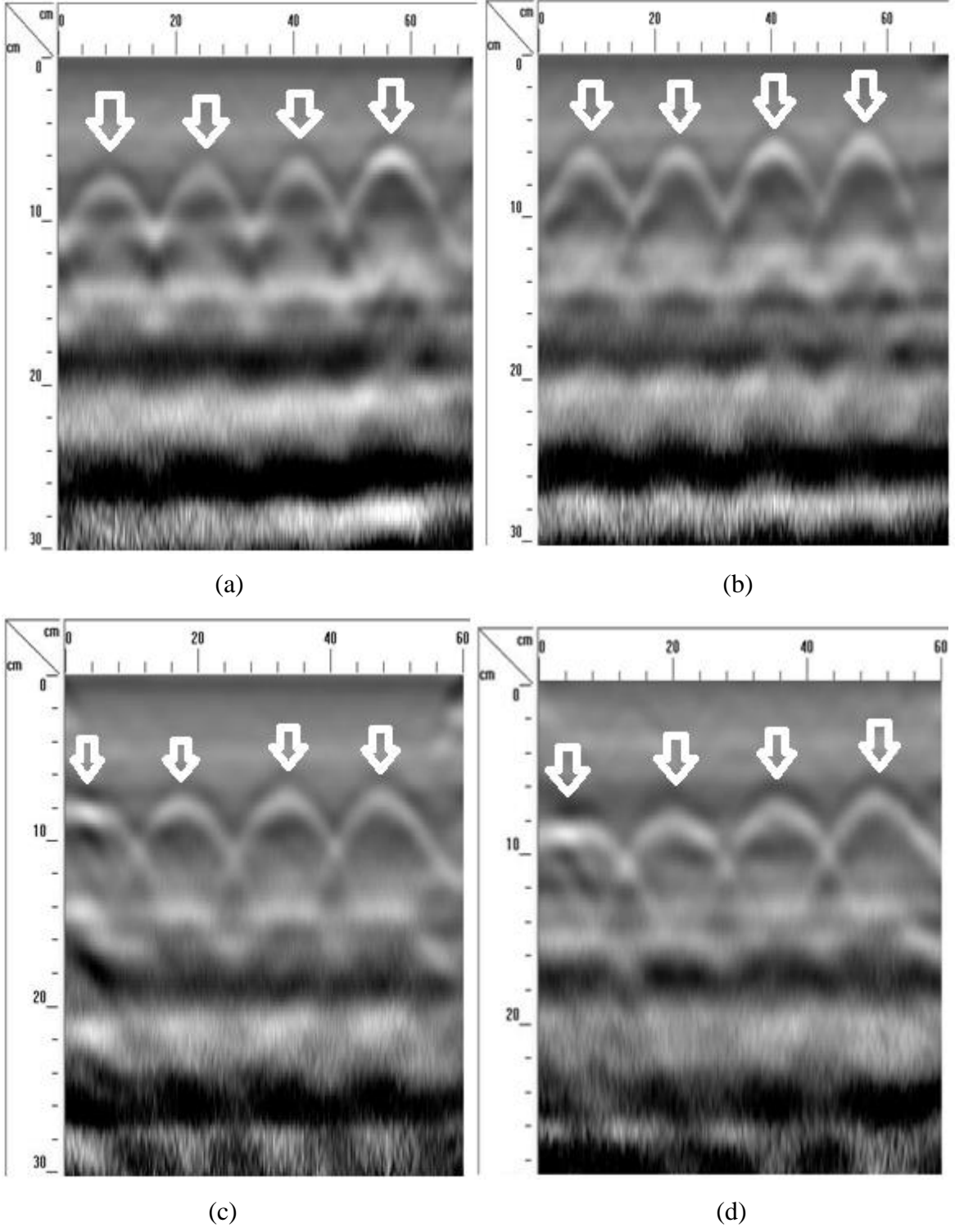
(a)



(b)

Şekil 88. Model 2 AB kesiti üzerinde yapılan 2B ’lu ölçümler a) Profil numaraları, hatları ve yönleri b) AB kesiti 2B’lu ölçümünden görünüm

Ölçülen verilerin işlenmesi sonucu elde edilen radargramlar Şekil 87’de gösterilmiştir.



Şekil 89. Model 2 AB kesiti radargramlar a) 1.ölçüm radargramı b) 2.ölçüm radargramı c) 3.ölçüm radargramı d) 4.ölçüm radargramı

Model 2’de AB kesiti üzerinde yapılan 2B’lu ölçümlerin Şekil 89’de gösterilen radargramları incelenip, radargramdaki verilerle Şekil 52 ve Şekil 88’da gösterilen donatı ve etriyelerin sayıları, kesit üzerindeki yerleri ve derinlikleri karşılaştırılacak olursa;

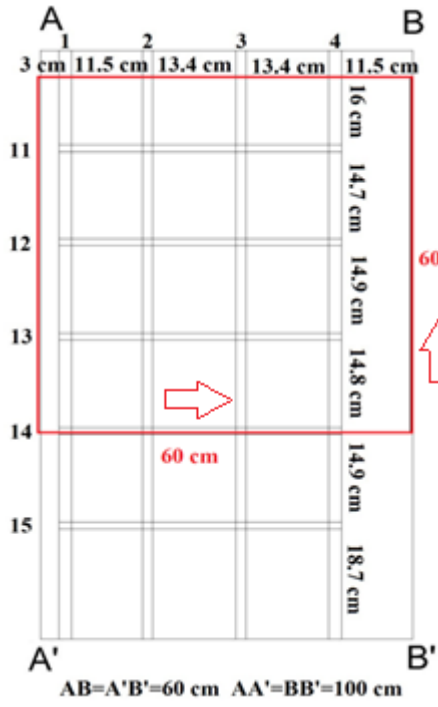
- Kesit üzerinde 4 adet etriye bulunmaktadır. Boyuna donatıların AB kesitinde 6-6.5 cm derinlikte olduğu (Sadece 1.donatının derinliği 6.5 cm, diğer donatılar 6 cm derinliktedir), donatılardan önce etriyelerin olduğu ve çaplarının 1,2 cm olduğu düşünülürse, etriyeler 4.8-5.3 cm derinlikte bulunmaktadır. Bu mesafe aynı zamanda etriyeli kısımdaki paspayıdır. Ayrıca etriyelerin profil hattında (düşey yönde) başlama mesafeleri 9.8, 25.8, 41.9 ve 57.8 cm’dir.

Düşey yönde yapılan 1. ve 2. ölçümde radargramlarda 4 adet etriye bulunduğu, etriyelerin derinliğinin (paspayı) 4-6 cm arasında olduğu ve etriyelerin profil hattında yaklaşık 9 , 26, 41 ve 57 cm’de olduğu görülmektedir.

- Kesit üzerinde 4 adet boyuna donatı bulunmaktadır. Donatıların AB kesitinde 6-6.5 cm derinlikte bulunmaktadır (Sadece 1.donatının derinliği 6.5 cm, diğer donatılar 6 cm derinliktedir). Bu mesafe aynı zamanda boyuna donatılı kısımdaki paspayıdır. Ayrıca donatıların profil hattında başlama (yatay yönde) mesafeleri 3, 16.5, 31.5 ve 46.5 cm’dir.

Yatay yönde yapılan 3. ve 4. ölçümde radargramlarda 4 adet donatı bulunduğu, donatıların derinliğinin (paspayı) 6-7 cm arasında olduğu ve donatıların profil hattında yaklaşık 3, 18, 34 ve 48 cm’de olduğu görülmektedir.

AB kesitinde 3B’lu görüntü elde edebilmek için 60x60 cm grid kağıdı kullanılarak profil aralıkları 5 cm olacak şekilde yatay olarak 13 ve düşey olarak 13 profilde ölçümler yapılmıştır. İlk yatay profil AB kesitine dik olarak 65 cm mesafededir ve son yatay profil AB kesitine dik olarak 5 cm mesafededir (4 cm beton dökülmeyen boşluk olan kısım ve 1 cm grid kağıdı ile betonun üst noktası ara mesafesi). İlk düşey profil AA’ kesitinin üzerinde ve son düşey profil ise BB’ kesitinin üzerindedir (Şekil 90).



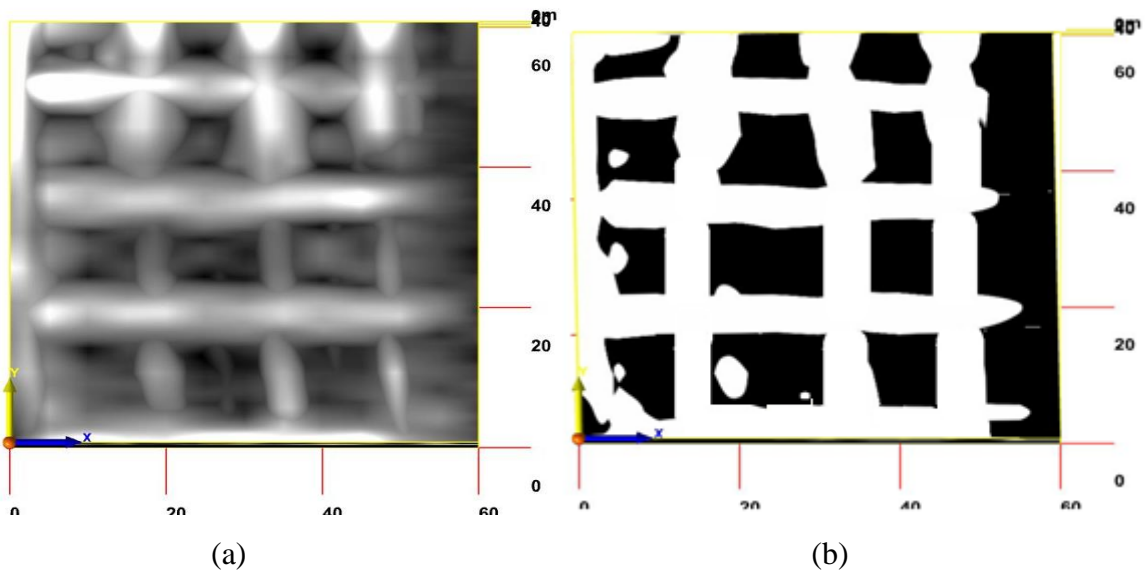
(a)



(b)

Şekil 90. Model 2 AB kesiti 3B ölçümler a) Grid kağıdının kolon üzerindeki konumu b) AB kesiti 3B'lu görüntü için profillerden yapılan ölçümden bir görünüm

Yatay ve düşey profillerde yapılan ölçümler sonucunda AB kesitinin 3B'lu görüntüsü elde edilmiştir. Derinlik (z) ekseninde 6.66 cm'de ayrıca yazılım üzerinde gain (kazanç) değerlerinin 20 ve 30 alınarak elde edilen görüntüsü Şekil 91'de gösterilmiştir.

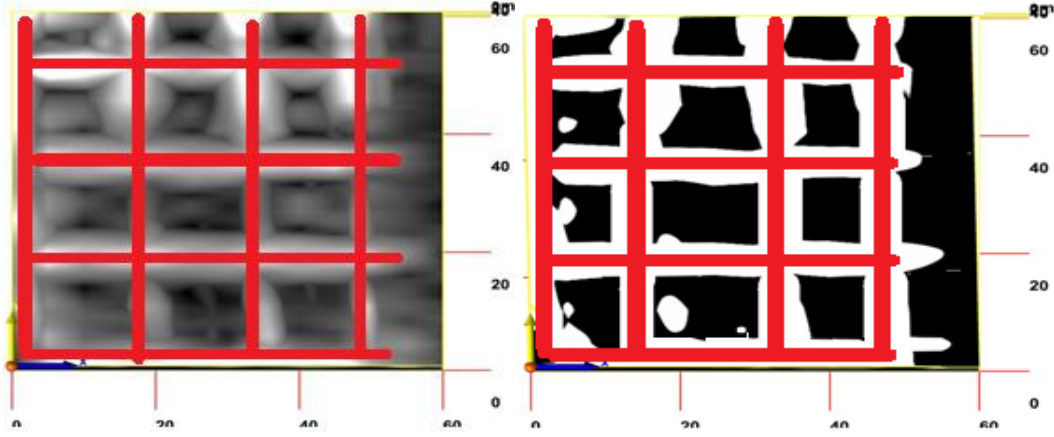


(a)

(b)

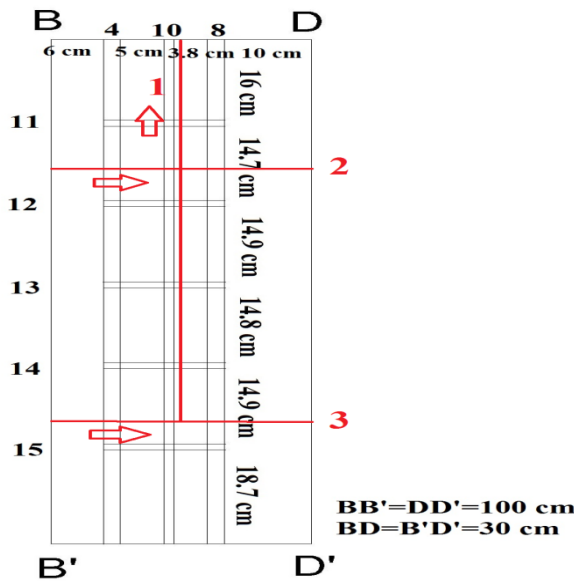
Şekil 91. Model 2 AB kesiti 3B'lu gösteriminin z=6.66 cm'de üstten görünümü a) Gain=20 b) Gain=30

Şekil 91’de 3B’lu görünümün $z=6.66$ cm’deki görüntüsü incelenecek olursa boyuna donatı ve etriyeler belirgin şekilde görülmektedir. Şekil 92’de boyuna donatı ve etriyeler işaretlenip gösterilmiştir. 4 adet boyuna donatı ve 4 adet etriye görülmektedir.



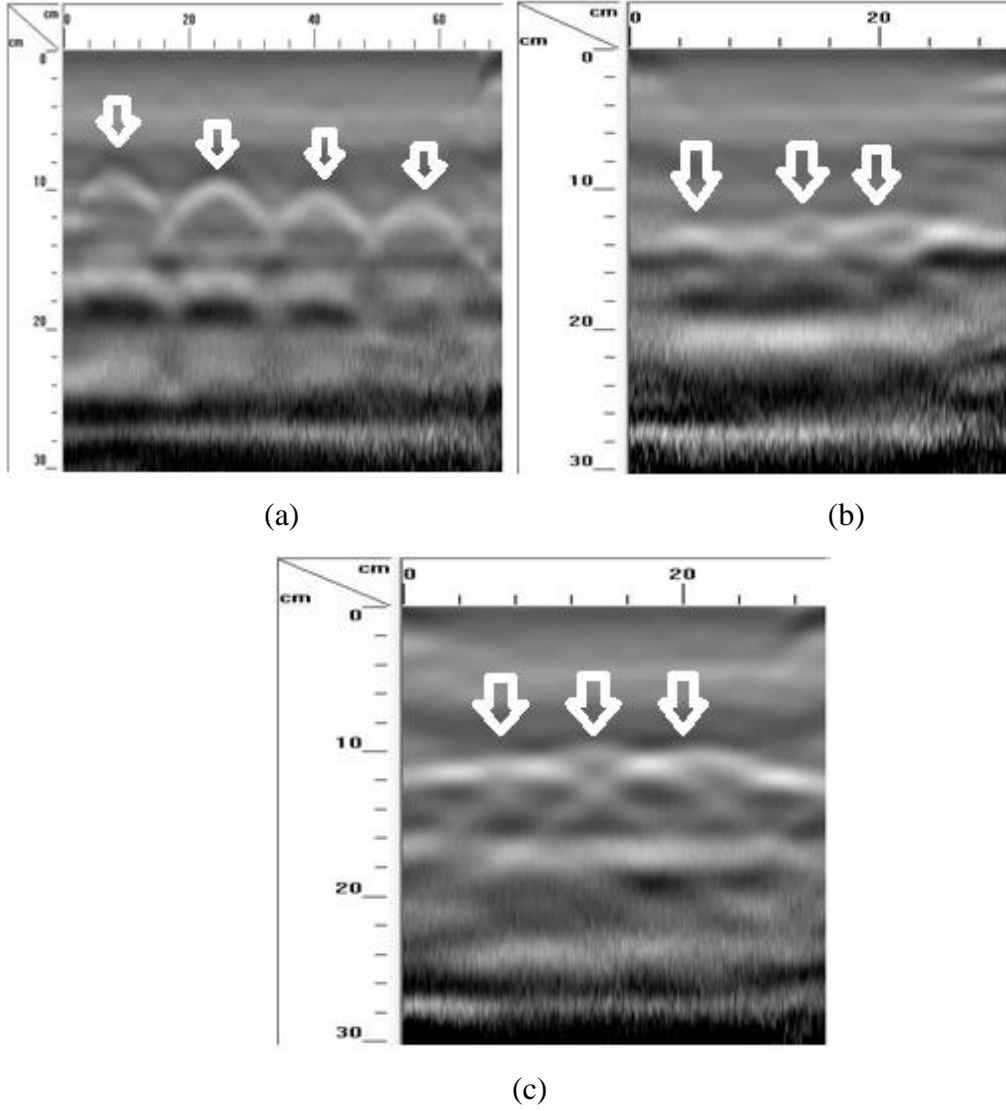
Şekil 92. Model 2 AB kesiti 3B’lu gösteriminin $z=6.66$ cm’de üstten görünümünde boyuna donatı ve etriyeler a) Gain=20 b) Gain=30

BD kesitinde 2B’lu 2 yatay ve 1 düşey ölçüm yapılmıştır. Profil numaraları, profil hatları ve profil yönleri Şekil 93’de gösterilmiştir. 1. ölçüm düşey olarak yapılmıştır. BB’ kesitinin 15 cm sağından ve B’D’ kesitinin 25 cm üstünden başlanmıştır. Ölçüm mesafesi 70 cm’dir. 2. ölçüm yatay olarak yapılmıştır. BD kesitinin 25 cm altından ölçüm yapılmıştır. Ölçüm mesafesi 30 cm’dir. 3. ölçüm yatay olarak yapılmıştır. B’D’ kesitinin 25 cm üstünden ölçüm yapılmıştır. Ölçüm mesafesi 30 cm’dir.



Şekil 93. Model 2 BD kesiti üzerinde yapılan 2B’lu ölçümler a) Profil numaraları, hatları ve yönleri b) BD kesiti 2B’lu ölçüm yerleri

Ölçülen verilerin işlenmesi sonucu elde edilen radargramlar Şekil 94’de gösterilmiştir.



Şekil 94. Model 2 BD kesiti radargramlar a) 1. ölçüm radargramı b) 2. ölçüm radargramı c) 3. ölçüm radargramı

Model 2’de BD kesiti üzerinde yapılan 2B’lu ölçümlerin Şekil 94’de gösterilen radargramları incelenip, radargramdaki verilerle Şekil 52 ve Şekil 93’de gösterilen donatı ve etriyelerin sayıları, kesit üzerindeki yerleri ve derinlikleri karşılaştırılacak olursa;

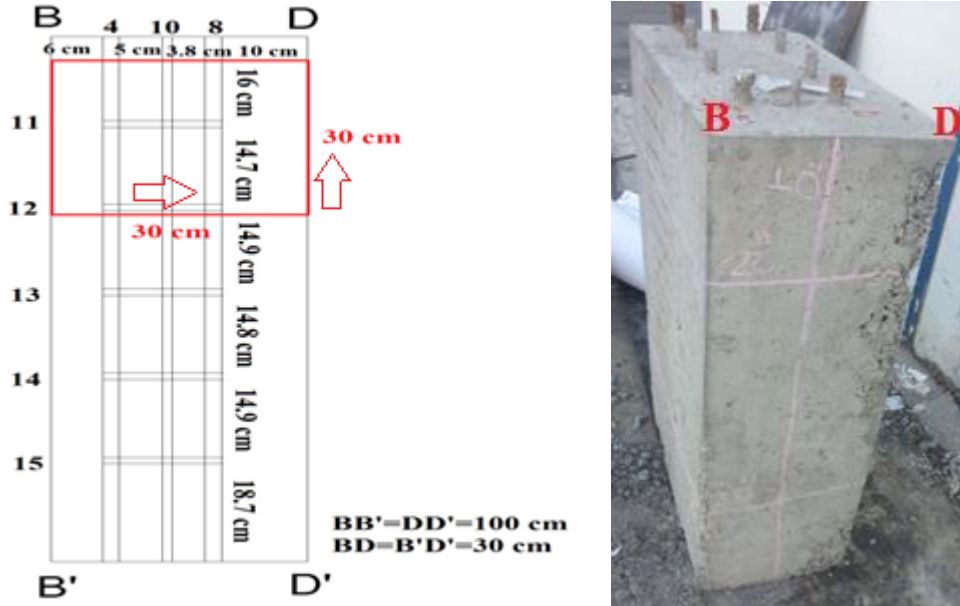
- Kesit üzerinde 4 adet etriye bulunmaktadır. Boyuna donatıların BD kesitinde 11.3-12 cm derinlikte olduğu (paspayı), donatılardan önce etriyelerin olduğu ve çaplarının 1,2 cm olduğu düşünülürse, etriyeler 10.1-10.8 cm derinlikte bulunmaktadır. Ayrıca etriyelerin profil hattında (düşey yönde) başlama mesafeleri 9.8, 25.8, 41.9 ve 57.8 cm’dir.

Düşey yönde yapılan 1. ölçümde radargramda 4 adet etriye bulunduğu, etriyelerin derinliğinin (paspayı) 8-10 cm arasında olduğu ve etriyelerin profil hattında yaklaşık 7 , 25, 40 ve 57 cm’de olduğu görülmektedir.

- Kesit üzerinde 3 adet boyuna donatı bulunmaktadır. Donatıların BD kesitinde 11.3-12 cm derinliktedir (paspayı). Ayrıca donatıların profil hattında (yatay yönde) başlama mesafeleri 6, 13, 18 cm’dir.

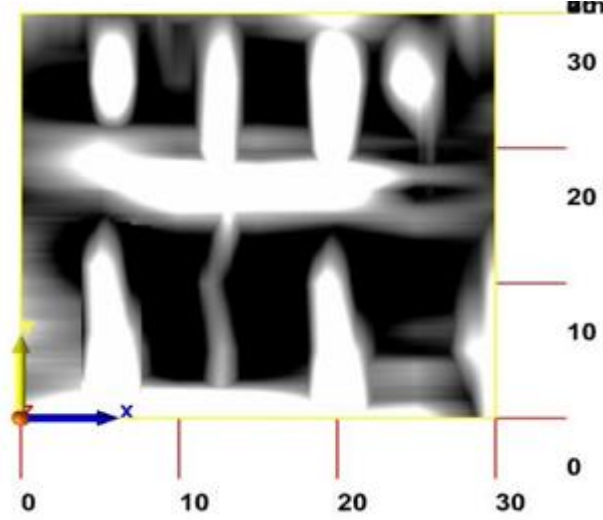
Yatay yönde yapılan 2. ve 3. ölçümde radargramlarda 3 adet donatı bulunduğu, donatıların derinliğinin (paspayı) 11-12 cm arasında olduğu ve donatıların profil hattında yaklaşık 6 , 13, 20 cm’de olduğu görülmektedir.

BD kesitinde 3B’lu görüntü elde edebilmek için 30x30 cm grid kağıdı kullanılarak profil aralıkları 5 cm olacak şekilde yatay 7 ve düşey 7 profilde ölçümler yapılmıştır. İlk yatay profil BD kesitine dik olarak 35 cm mesafededir ve son yatay profil BD kesitine dik olarak 5 cm mesafededir (4 cm beton dökülmeyen boşluk olan kısım ve 1 cm grid kağıdı ile betonun üst noktası ara mesafesi). İlk düşey profil BB’ kesitinin üzerinde ve son düşey profil ise DD’ kesitinin üzerindedir (Şekil 95).



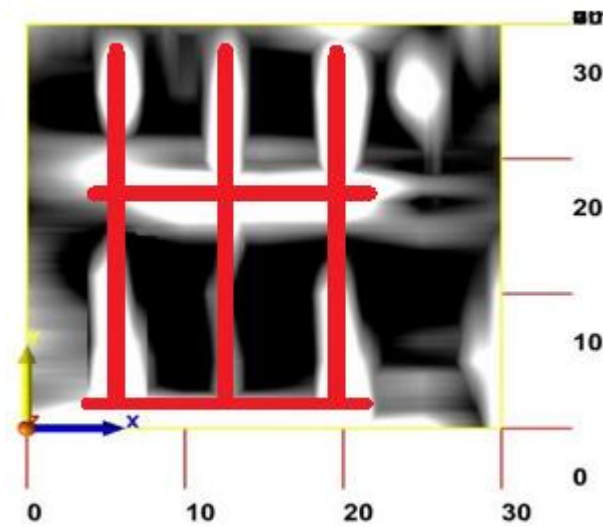
Şekil 95. Model 2 BD kesiti 3B ölçümler a) Grid kağıdının kolon üzerindeki konumu b) BD kesitinin görünümü

Yatay ve düşey profillerde yapılan ölçümler sonucunda BD kesitinin 3B'lu görüntüsü elde edilmiştir. Derinlik (z) eksenini 12.46 cm'dir (Şekil 96).



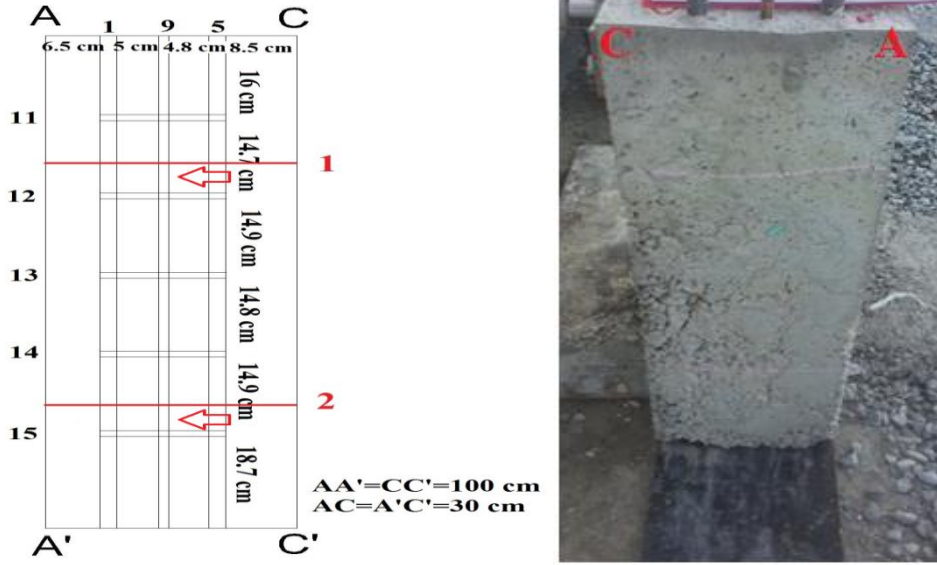
Şekil 96. Model 2 BD kesiti 3B gösteriminin $z=12.46$ cm'de üstten görünümü

Şekil 96'da 3B'lu görünümün $z=12.46$ cm'deki görüntüsü incelenecek olursa boyuna donatı ve etriyeler belirgin şekilde görülmektedir. Şekil 97'de boyuna donatı ve etriyeler işaretlenip gösterilmiştir. 3 adet boyuna donatı ve 2 adet etriye görülmektedir.



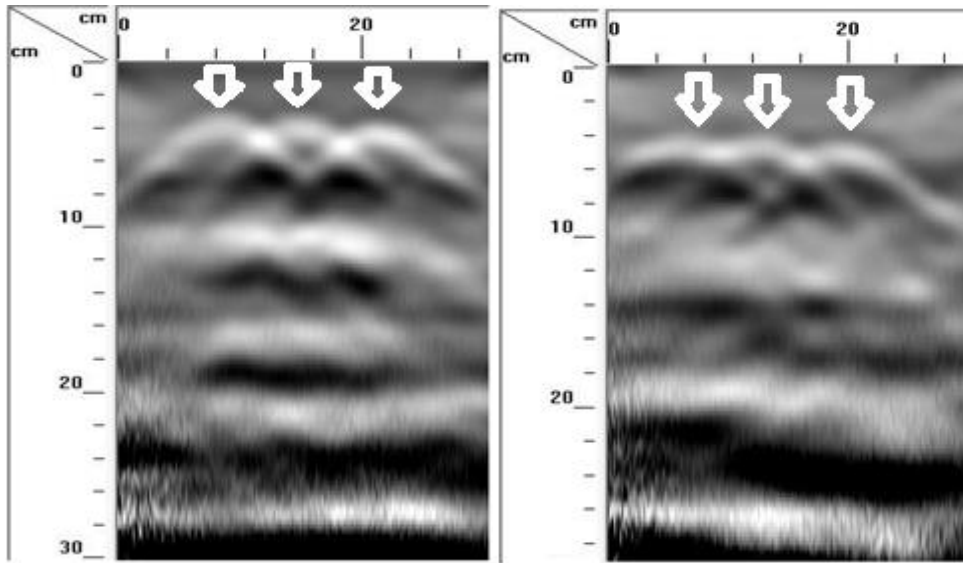
Şekil 97. Model 2 BD kesiti 3B gösteriminin $z=12.46$ cm'de üstten görünümünde boyuna donatı ve etriyeler

CA kesitinde 2B'lu 2 yatay ölçüm yapılmıştır. Profil numaraları, profil hatları ve profil yönleri Şekil 98'de gösterilmiştir. 1. ölçüm CA kesitinin 25 cm altından yapılmıştır. Ölçüm mesafesi 30 cm'dir. 2. ölçüm C'A' kesitinin 25 cm üstünden yapılmıştır. Ölçüm mesafesi 30 cm'dir.



Şekil 98. Model 2 CA kesiti 2B ölçümler a) Profil numaraları, hatları ve yönleri b) CA kesiti 2B ölçüm yerleri

Ölçülen verilerin işlenmesi sonucu elde edilen radargramlar Şekil 99'de gösterilmiştir.



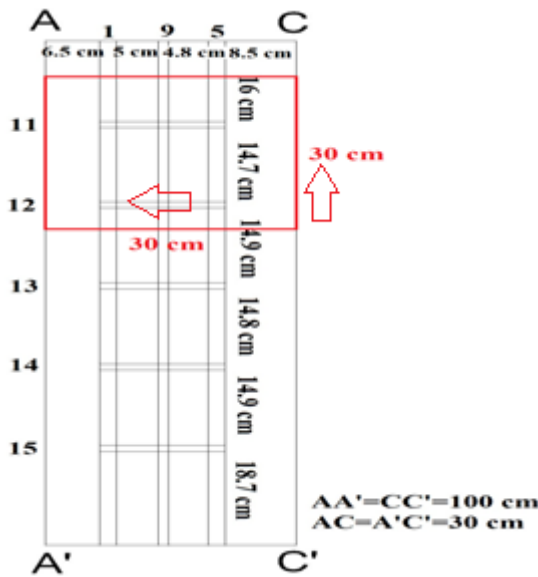
Şekil 99. Model 2 CA kesiti radargramları a) 1.ölçüm radargramı b) 2.ölçüm radargramı

Model 2’de CA kesiti üzerinde yapılan 2B’lu ölçümlerin Şekil 99’de gösterilen radargramları incelenip, radargramdaki verilerle Şekil 52 ve Şekil 98’de gösterilen donatı sayıları, kesit üzerindeki yerleri ve derinlikleri karşılaştırılacak olursa;

- Kesit üzerinde 3 adet boyuna donatı bulunmaktadır. Donatıların CA kesitinde 2.1-3 cm derinliktedir (paspayı). Ayrıca donatıların profil hattında (yatay yönde) başlama mesafeleri 6.5, 13.5, 19.5 cm’dir.

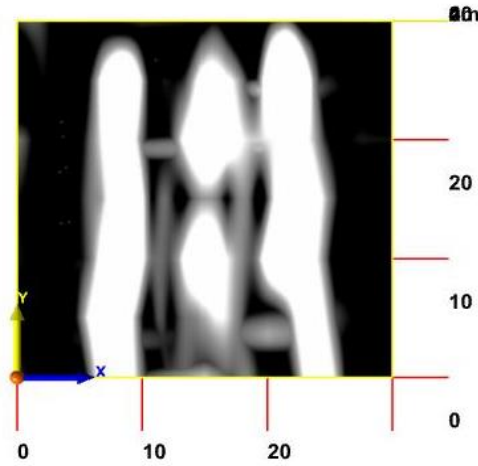
Yatay yönde yapılan 1. ve 2. ölçümde radargramlarda 3 adet donatı bulunduğu, donatıların derinliğinin (paspayı) 2-4 cm arasında olduğu ve donatıların profil hattında yaklaşık 8 , 14, 21 cm’de olduğu görülmektedir.

CA kesitinde 3B’lu görüntü elde edebilmek için 30x30cm grid kağıdı kullanılarak profil aralıkları 5 cm olacak şekilde yatay 7 ve düşey 7 profilde ölçümler yapılmıştır. İlk yatay profil CA kesitine dik olarak 37 cm mesafededir ve son yatay profil CA kesitine dik olarak 7 cm mesafededir (4 cm beton dökülmeyen boşluk olan kısım ve 3 cm grid kağıdı ile betonun üst noktası ara mesafesi). İlk düşey profil CC’ kesitinin üzerinde ve son düşey profil ise AA’ kesitinin üzerindedir (Şekil 100).



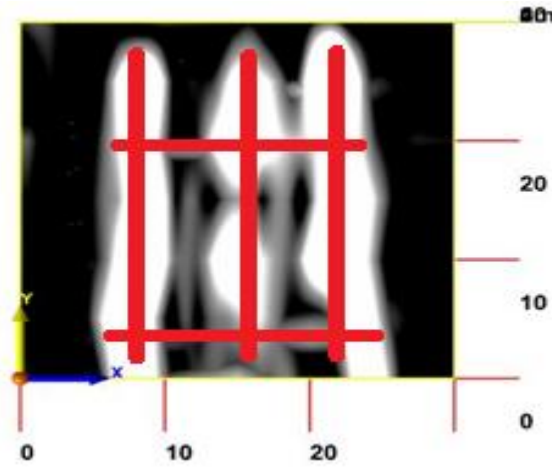
Şekil 100. Model 2 CA kesiti 3B ölçümler a) Grid kağıdının kolon üzerindeki konumu b) CA kesiti 3B’lu görüntü için profillerden yapılan ölçümden bir görünüm

Yatay ve düşey profillerde yapılan ölçümler sonucunda CA kesitinin 3B’lu görüntüsü elde edilmiştir. Derinlik (z) eksenini 3.53 cm’dir (Şekil 101).



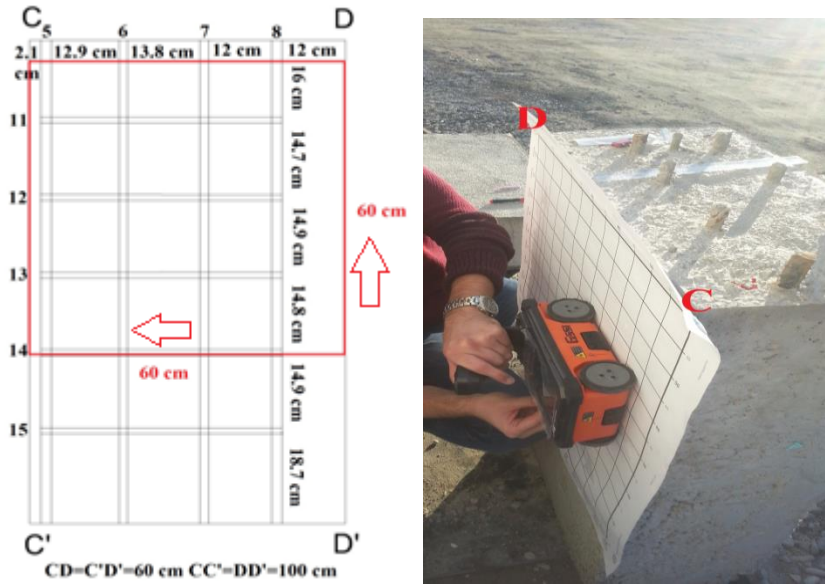
Şekil 101. Model 2 CA kesiti 3B gösteriminin $z=3.53$ cm'de üstten görünümü boyuna donatı ve etriyeler

Şekil 101'de 3B'lu görünümün $z=3.53$ cm'deki görüntüsü incelenecek olursa boyuna donatı ve etriyeler belirgin şekilde görülmektedir. Şekil 102'de boyuna donatı ve etriyeler işaretlenip gösterilmiştir. 3 adet boyuna donatı ve 2 adet etriye görülmektedir.



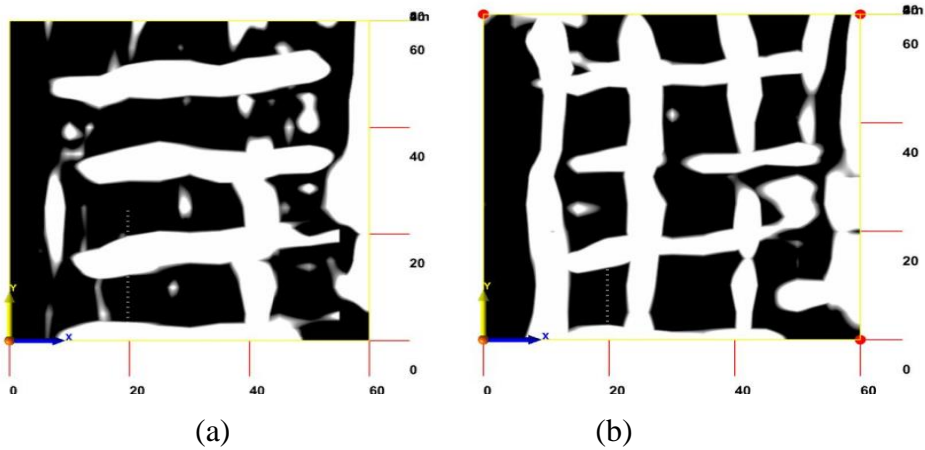
Şekil 102. Model 2 CA kesiti 3B gösteriminin $z=3.53$ cm'de üstten görünümünde boyuna donatı ve etriyeler

DC kesitinde 3B'lu görüntü elde edebilmek için 60x60 cm grid kağıdı kullanılarak profil aralıkları 5 cm olacak şekilde yatay 13 ve dikey 13 profilde ölçümler yapılmıştır. İlk yatay profil DC kesitine dik olarak 65 cm mesafededir ve son yatay profil DC kesitine dik olarak 5 cm mesafededir (4 cm beton dökülmeyen boşluk olan kısım ve 1 cm grid kağıdı ile betonun üst noktası ara mesafesi). İlk dikey profil DD' kesitinin üzerinde ve son dikey profil ise CC' kesitinin üzerindedir (Şekil 103).



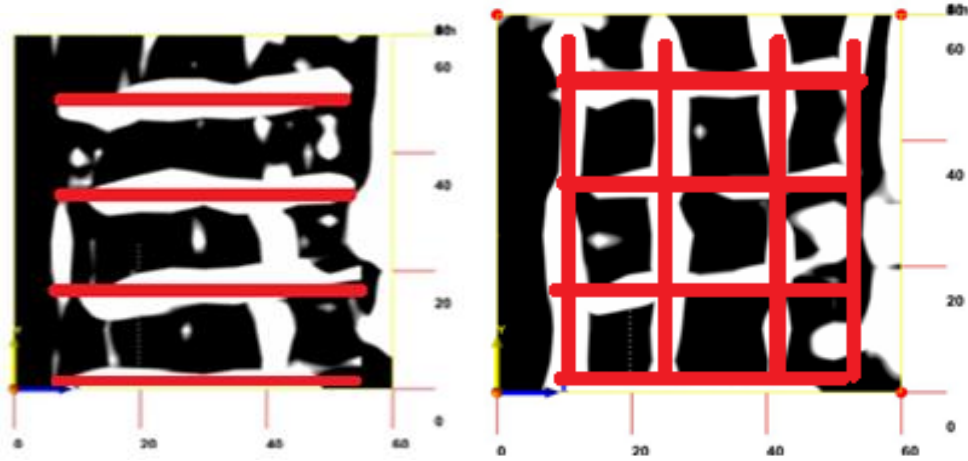
Şekil 103. Model 2 DC kesiti 3B ölçümler a) Grid kağıdının kolon üzerindeki konumu b) DC kesiti 3B'lu görüntü için profillerden yapılan ölçümlerden bir görünüm

Yatay ve düşey profillerde yapılan ölçümler sonucunda DC kesitinin 3B görüntüsü elde edilmiştir. 3B görüntünün 2 farklı derinliklerdeki kesitleri Şekil 104'de gösterilmiştir.



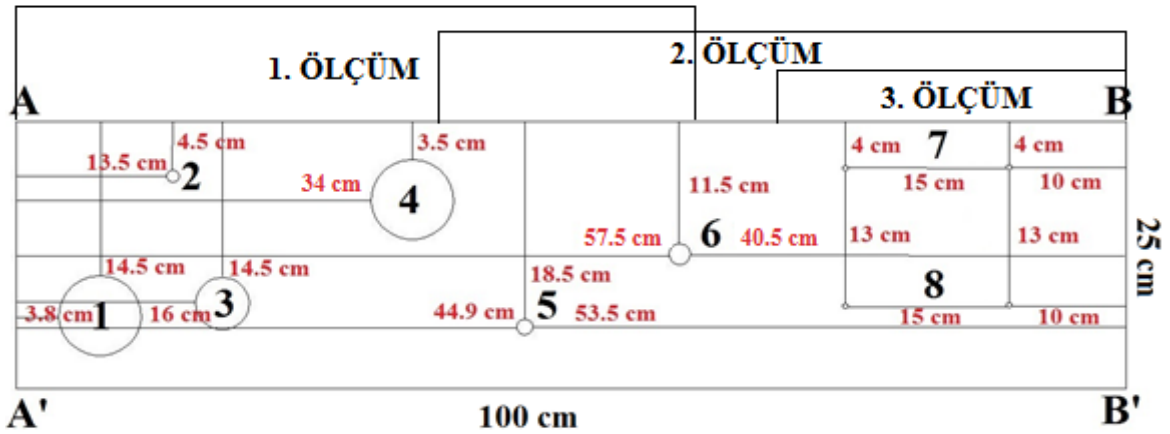
Şekil 104. Model 2 DC kesiti 3B gösteriminin farklı derinliklerde üstten görünümü
a) $z=8.0$ cm b) $z=10.23$ cm

Şekil 104'de 3B'lu görünümün $z=8.0$ cm'deki görüntüsü incelenecek olursa donatılardan daha önde bulunan etriyeler görülüyor. Daha sonra $z=10.23$ cm de ise boyuna donatılarda görülüyor. Şekil 105'de boyuna donatı ve etriyeler işaretlenip gösterilmiştir. 4 adet boyuna donatı ve 4 adet etriye görülmektedir.



Şekil 105. Model 2 DC kesiti 3B gösteriminin farklı derinliklerde üstten görünümünde boyuna donatı ve etriyeler a) $z=8.0$ cm b) $z=10.23$ cm

Model 3’de yatay kalıp içerisine yerleştirilen çelik donatı, çelik hasır ve PVC boruların yerinin tespiti için çalışma yapılmıştır. Ölçümler sonucunda 3B’lu görüntüler elde edilmiştir. Model 3 kolon kalıbı ve donatıları Şekil 53’de gösterilmiştir. Model 3’te 3 farklı kısımda 3B’lu görüntü elde edebilmek amacıyla ölçümler yapılmıştır. Şekil 54’de kalıp kesit ve boyutları gösterilmiştir. Ölçüm yapılan 3 farklı kısımda ölçümlerin kapsadığı malzemeler ve konumları Şekil 106’da gösterilmiştir.



Şekil 106. Model 3 ölçümlerin kapsadığı malzemelerin gösterimi

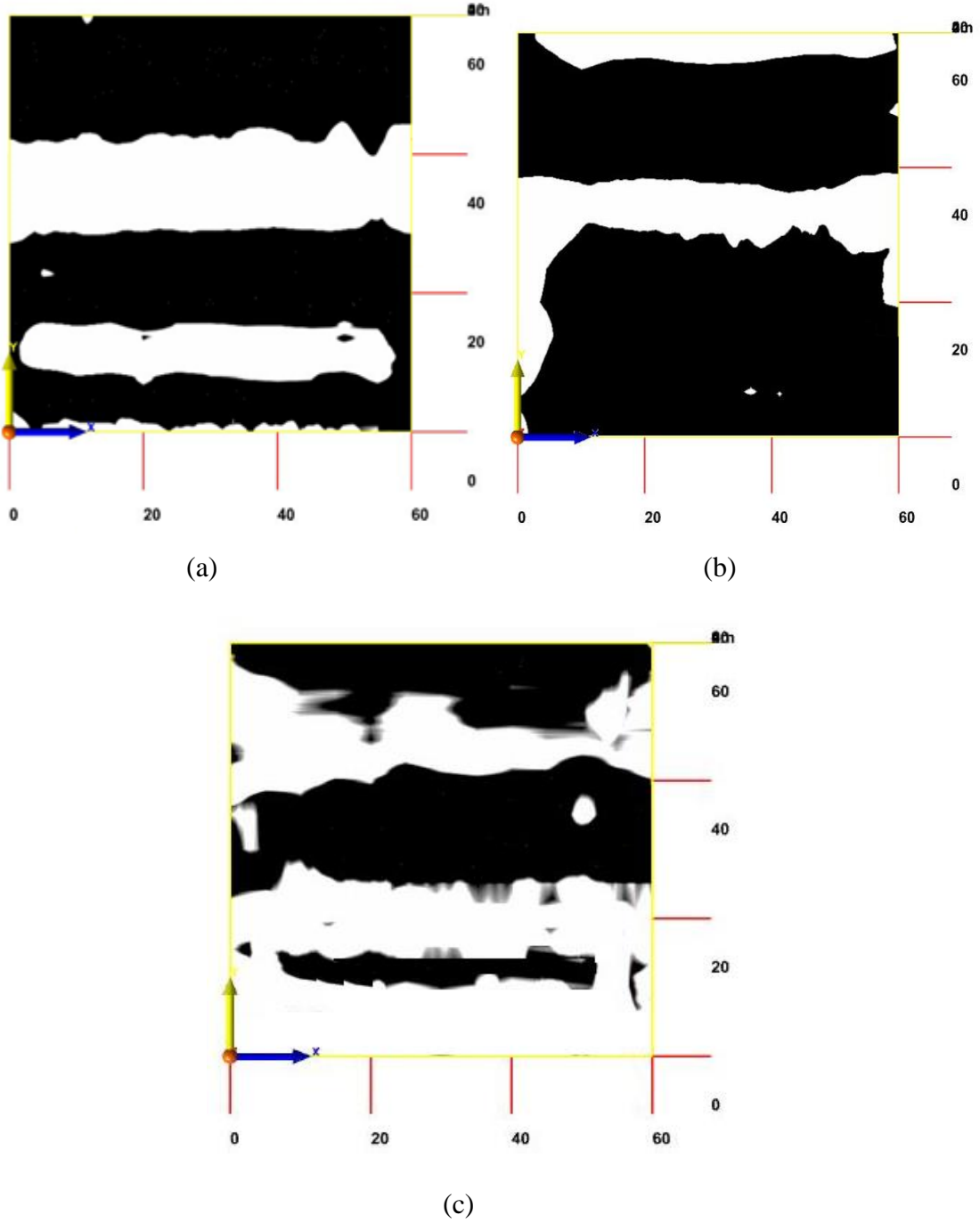
1. ölçümde 3B görüntü elde edebilmek için 60x60cm grid kağıdı kullanılarak yatay 13 ve düşey 13 profilde ölçümler yapılmıştır. Yatay profiller CA kesitinin üzerinden başlayıp, 5'er cm ara ile devam etmiştir. Son yatay profil CA kesitine dik olarak 60 cm mesafededir. İlk düşey profil CD kesitinin üzerinden başlayıp, 5'er cm ara ile devam etmiştir. Son düşey profil AB kesitinin üzerindedir (Şekil 107).



Şekil 107. CA kesitinden başlayarak oluşturulan profillerden yapılan ölçümden bir görüntü

Profiller, Şekil 106 'da gösterilen 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı malzemeleri kapsamaktadır. Tablo 12 'de malzemelerin özellikleri belirtilmiştir.

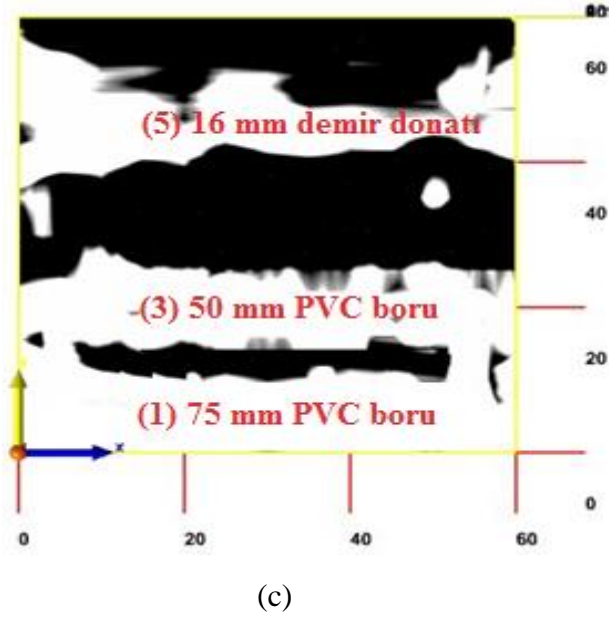
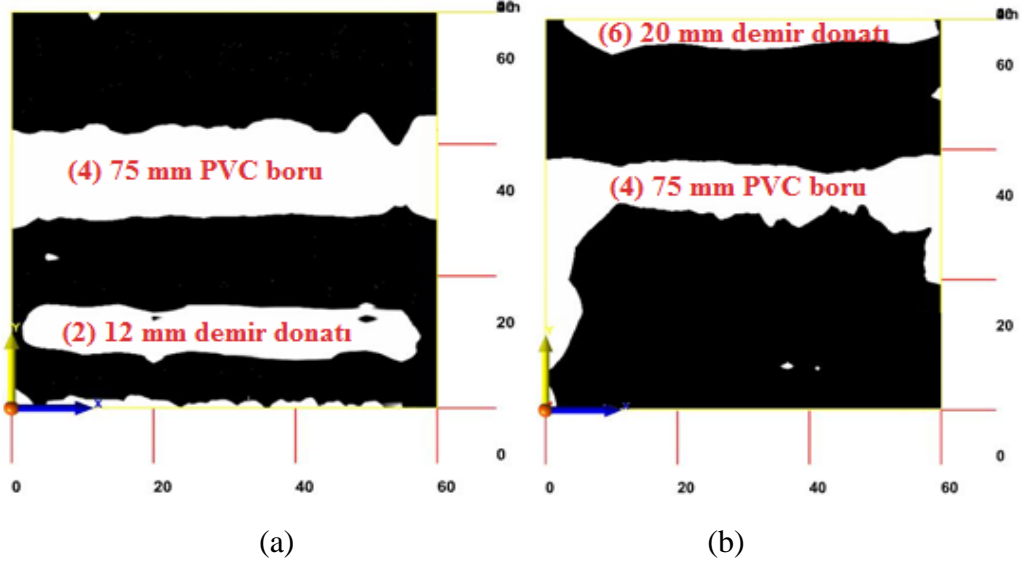
CA kesiti üzerinden başlayarak yatay ve düşey profillerde yapılan ölçümler sonucunda oluşturulan 3B gösteriminin farklı derinliklerdeki üstten görünümü Şekil 108'de gösterilmiştir.



Şekil 108. CA kesiti üzerinden başlayan ölçümlerin 3B gösteriminin farklı derinliklerde üstten görünümü a) $z=5.54$ cm'deki görüntü b) $z=12.79$ cm'deki görüntü c) $z=19.48$ cm'deki görüntü

Şekil 108'de 3B görünümün $z=5.54$ cm'deki görüntüsü incelenecek olursa 3.5 cm derinlikte başlayan 4 numaralı malzeme (75 mm PVC boru) ve 4.5 cm derinlikte başlayan 2 numaralı malzeme (12 mm çelik donatı) görülmektedir. $Z=12.79$ cm'deki görüntüsüne bakılırsa 11.5 cm derinlikte başlayan 6 numaralı malzeme (20 mm çelik donatı)

görülmektedir. Ayrıca 4 numaralı PVC borunun etkisinde görülmektedir. $z=19.48$ cm'deki görüntüsüne bakılırsa 14.5 cm derinlikte başlayan 1 numaralı malzeme (75 mm PVC boru), 3 numaralı malzeme (50 mm PVC boru) ve 5 numaralı malzeme (16 mm çelik donatı) görülmektedir (Şekil 109).



Şekil 109. CA kesiti üzerinden başlatılarak yapılan ölçümlerin 3B gösteriminin farklı derinliklerde üstten görünümünde malzemeler a) $z=5.54$ cm'deki görüntü b) $z=12.79$ cm'deki görüntü c) $z=19.48$ cm'deki görüntü

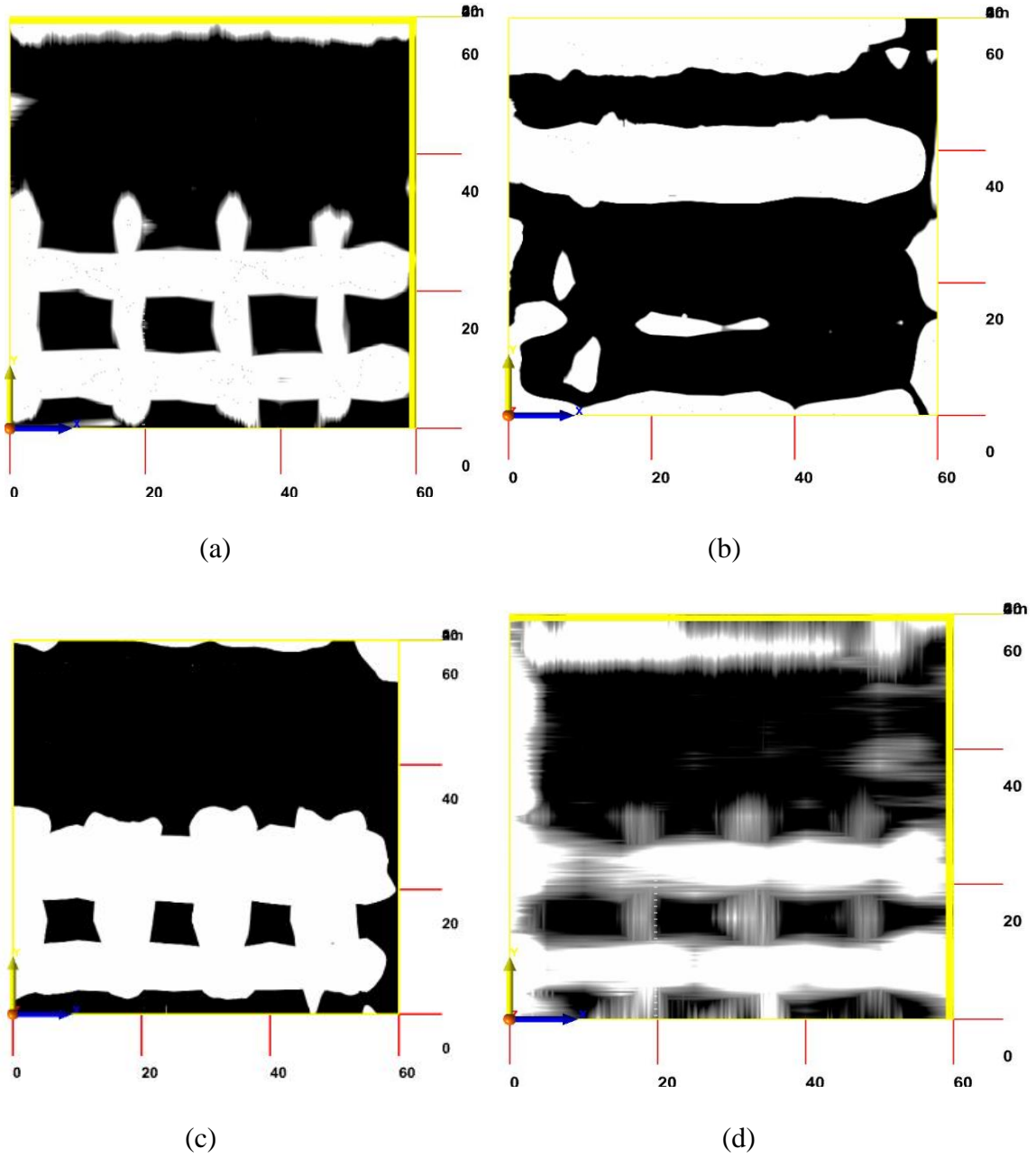
2. ölçümde 3B görüntü elde edebilmek için 60x60cm grid kağıdı kullanılarak yatay 13 ve düşey 13 profilde ölçümler yapılmıştır. Yatay profiller BD kesitinin üzerinden başlayıp, 5'er cm ara ile devam etmiştir. Son yatay profil BD kesitine dik olarak 60 cm mesafededir. İlk düşey profil BA kesitinin üzerinden başlayıp, 5'er cm ara ile devam etmiştir. Son düşey profil DC kesitinin üzerindedir (Şekil 110).



Şekil 110. BD kesiti üzerinden başlayarak oluşturulan profillerden ölçüm alımı

Profiller Şekil 106'da gösterilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı malzemeleri kapsamaktadır. Ayrıca 4 numaralı malzemenin 2.5 cm'lik kısmını kapsamaktadır. Tablo 12'de malzemelerin özellikleri belirtilmiştir.

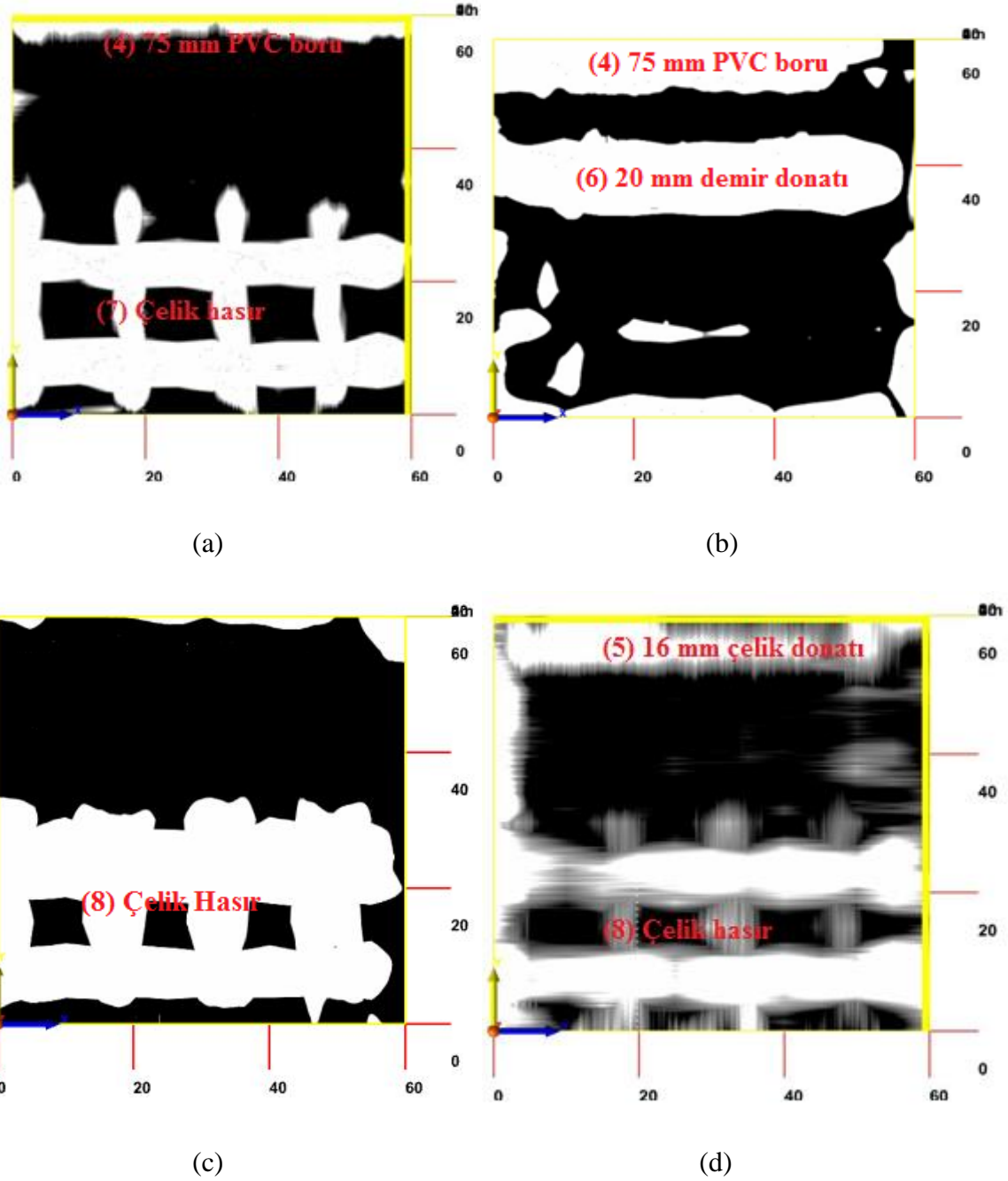
BD kesiti üzerinden başlayarak yatay ve düşey profillerde yapılan ölçümler sonucunda oluşturulan 3B görüntünün farklı derinliklerdeki kesitleri Şekil 111'de gösterilmiştir.



Şekil 111. BD kesiti üzerinden başlayarak yapılan ölçümlerin 3B gösteriminin farklı derinliklerdeki üstten görünümü a) $z=4.43$ cm'deki görüntü b) $z=13.36$ cm'deki görüntü c) $z=17.82$ cm'deki görüntü d) $z=19.61$ cm'deki görüntü

Şekil 111'de 3B görünümün $z=4.43$ cm'deki görüntüsü incelenecek olursa 4 cm derinlikte başlayan 7 numaralı malzeme (çelik hasır) ile 2.5 cm'lik kısmı kesitte bulunan ve 3.5 cm derinlikte başlayan 4 numaralı malzeme (PVC boru) görülmektedir. Şekil 56'da gösterilen çelik hasırda BD kesitine göre yatayda 2 sıra, düşeyde 4 sıra donatı Şekil 111'de görülmektedir. $Z=13.36$ cm'deki görüntü incelenecek olursa 6 numaralı malzeme (20 mm çelik donatı) görülmektedir. Ayrıca 4 numaralı malzemenin (75 mm PVC boru) 2.5 cm'lik

kısımının 13.36 cm derinlikteki etkisi görülmektedir. $Z=17.82$ cm'deki görüntü incelenecek olursa 8 numaralı malzeme (çelik hasır) 2.kat hasır görülmektedir. $Z=19.61$ cm'deki görüntü incelenirse 5 numaralı malzeme (16 mm çelik donatı) görülmektedir, ayrıca 8 numaralı malzemenin (çelik hasır) etkisinin devam ettiği görülmektedir (Şekil 112).



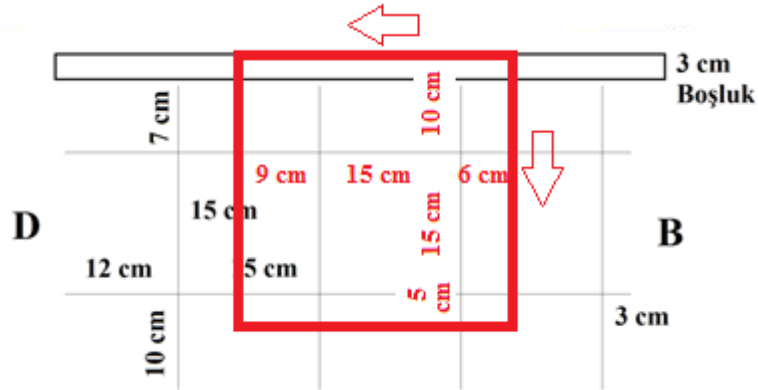
Şekil 112. BD kesiti üzerinden başlatılarak yapılan ölçümlerin 3B gösteriminin farklı derinliklerdeki üstten görünümünde malzemeler a) $z=4.43$ cm'deki görüntü b) $z=13.36$ cm'deki görüntü c) $z=17.82$ cm'deki görüntü d) $z=19.61$ cm'deki görüntü

3. ölçümde 3B görüntü elde edebilmek için 30x30cm grid kağıdı kullanılarak yatay 7 ve düşey 7 profilde ölçümler yapılmıştır. Yatay profiller BD kesitinin üzerinden başlayıp, 5'er cm ara ile devam etmiştir. Son yatay profil BD kesitine dik olarak 30 cm mesafededir. İlk düşey profil BD kesitine dik olarak 12 cm mesafede, son profil ise BD kesitine dik olarak 42 cm mesafede, DC kesitine 18 cm mesafededir (Şekil 113).



Şekil 113. BD kesiti üzerinden başlayarak oluşturulan profillerden ölçüm alımı

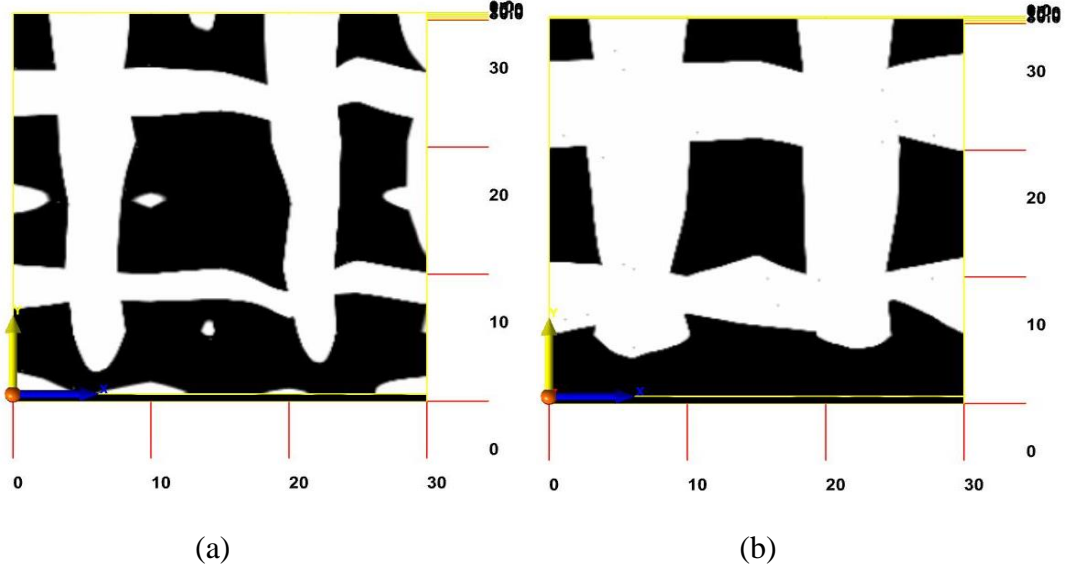
Profiller Şekil 106'da gösterilen 7 ve 8 numaralı malzemeler olan çelik hasırları kapsamaktadır. Çelik hasırların profiller içerisinde kalan kısımları Şekil 114'de gösterilmiştir.



Şekil 114. Grid kağıdının çelik hasırlar üzerinde ölçüm yapılan kısımları

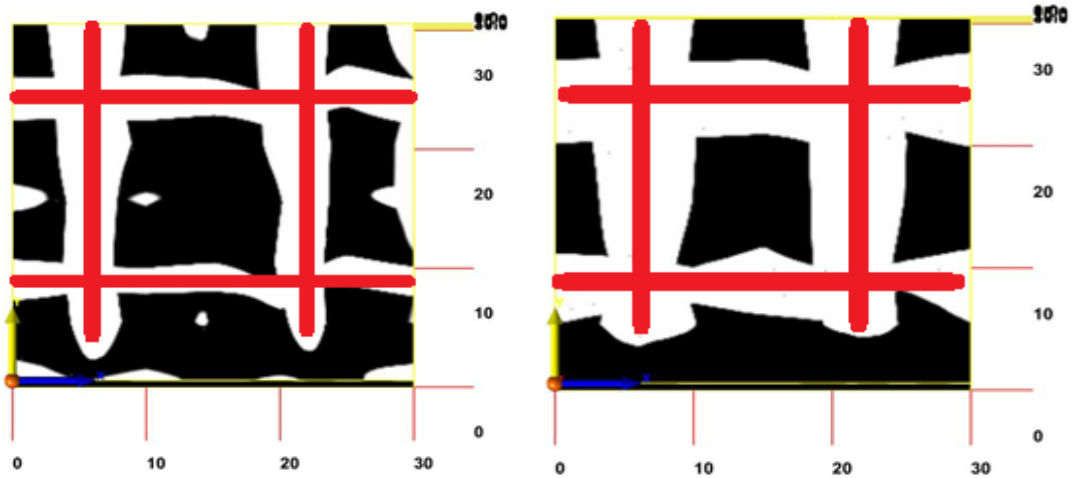
Çelik hasırın yatay kısmının 10 cm'de başladığı 2. yatay kısmın 25 cm de olduğu görülmektedir. Düşey kısımlarına bakıldığında ise ilk düşey kısmın 6 cm'de başladığı 2. düşey kısmın ise 21 cm'de olduğu görülmektedir.

BD kesiti üzerinden başlayarak yatay ve düşey profillerde yapılan ölçümler sonucunda oluşturulan 3B görüntünün farklı derinliklerdeki kesitleri Şekil 115’de gösterilmiştir.



Şekil 115. BD kesiti üzerinden başlayarak yapılan ölçümlerin 3B’lu gösteriminin farklı derinliklerdeki üstten görünümü a) $z=4.43$ cm’deki görüntü b) $z=17.82$ cm’deki görüntü

Şekil 115’de 3B görünümün $z=4.43$ cm’deki görüntüsünde 7 numaralı, $z=17.82$ cm’deki görüntüsünde 8 numaralı malzemeler olan çelik hasırlar belirgindir. Şekil 116’ da çelik hasırlar işaretlenmiştir.



Şekil 116. BD kesiti üzerinden başlayarak yapılan ölçümlerin 3B’lu gösteriminin farklı derinliklerdeki üstten görünümü a) $z=4.43$ cm’deki görüntü b) $z=17.82$ cm’deki görüntü

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan ultrasonik, elektrik özdirenç ve yer radarı yöntemleri ile beton/betonarme yapılar üzerinde yapılan ölçümlerden çeşitli bulgulara ulaşılmış ve tartışılmıştır.

3.1. Ultrasonik Yöntem ile Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Verilere Ait Bulgular ve Tartışma

Model 1 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümü sonucu elde edilen veriler incelendiğinde (Tablo 13), ölçümlere kolonun üzerindeki 8. profilden yani 35 cm'den başlandığı anlaşılır. Bunun sebebi 35 cm'den daha aşağıda ölçüm yapılamamış olmasıdır. Ölçüm alınamamış kısım, kolonda özellikle alıcının bulunduğu C kesiti tarafında bulunan ıslak bölgedir. P dalgasının sıvılarda yayınının mevcut olduğu göz önüne alındığında ölçüm yapılamamış olmasının sebebi aletin yeterli enerjiyi bu örnekteki alıcı-verici mesafesi olan 42 cm'de karşı tarafa geçirememesinden dolayı olduğu yorumlanabilir.

Ultrasonik yöntem ile elde edilen veriler incelendiğinde (Tablo 13) maksimum V_p değerinin 3794 m/s, minimum V_p değerinin 2910 m/s ve ortalama hız değerinin ise 3358 m/s olduğu görülmüştür. Bu beton ortalama hız değerine göre değerlendirildiğinde dalga hızına bağlı beton kalite sınıflamasına göre (Tablo 5) “orta” kalite beton olduğu görülmüştür. Bölgesel olarak yorumlandığında yatayda 0-5 cm aralığında düşeyde 55 cm'den üst kısımlarındaki bölgenin beton kalitesinin genellikle “iyi” kalite beton olduğu, diğer kısımların yer yer “iyi” ve “orta” kalite beton olduğu görülmüştür.

Ölçüm sonuçlarına sıvanın etkisi gözetilerek düzeltme faktörü uygulanmıştır. Düzeltmiş hız değerleri (V_{po}) incelenecek olursa (Tablo 14) maksimum V_{po} değerinin 4149 m/s, minimum V_{po} değerinin 3084 m/s ve ortalama hız değerinin ise 3617 m/s olduğu görülmektedir. Ortalama hız değerine göre betonun dalga hızına bağlı beton kalite sınıflamasında Uyanık ve diğ. (2013) 'e göre (Tablo 5) “iyi” kalite beton olduğu görülmüştür. Bu sınıflama bazı bölgesel kısımlar dışında yapının genelini kapsamaktadır. Hız haritalarına bakıldığında hem ölçülen P dalgası ultrasonik verilerinden oluşturulan hız haritasında (Şekil 60) hem de sıva düzeltmesinden sonra elde edilen hız haritasında (Şekil 61) ultrasonik hız değerlerinin değişimleri net olarak görülmüştür. Sıva düzeltmesinden

sonra elde edilen ultrasonik hız değerleri incelendiğinde görülmüştür ki sıvanın ölçüm sonuçları üzerine etkisi azaltıcı yönde azımsanmayacak boyuttadır.

Model 2’de verilen ölçüm sonuçları incelendiğinde (Tablo 15) maksimum V_p değerinin 4128 m/s minimum V_p değerinin 3816 m/s ve ortalama hız değeri ise 4014 m/s olduğu görülmüştür. Ortalama hız değeri dalga hızına bağlı beton kalite sınıflamasına göre (Tablo 5) “iyi” kalitede beton olduğunu göstermiştir. Ultrasonik hız haritasında (Şekil 64) düşey 50-60 cm’deki V_p değerlerinin diğer kısımlara göre daha düşük olduğu net bir şekilde görülmüştür. Modelin genelindeki V_p hız değerlerinde değişim miktarı azdır. Beton daha tam dayanımına ulaşmamış yeni beton olmasına ve ayrıca betonun özellikle alıcı kısmı olan CD kesitindeki boşluklu kısımlara rağmen değerlerin yüksek çıkmasında beton kalitesi ile beraber betonun ıslaklığının da etkisi olduğu düşünülmektedir.

Model 3’te görülen yatay betonarme yapının dik bir kırık olduğu gözlemlenen kısmında (Şekil 53) ultrasonik yöntem ile betonda oluşan çatlakları belirleyebilmek için elde edilen dalga geçiş sürelerine bakıldığında (Tablo 16) 1. profilde ölçülen 1., 2. ve 3. ölçüm sonuçları sabit artış oranı ile ilerlerken kırığın bulunduğu 3.ölçüm noktasından sonraki ölçümlerden 4. ölçüm noktasında artış oranının arttığı daha sonra 5. ve 6. ölçüm noktalarında oranın sabitlendiği görülmüştür. Aynı şekilde 2. profilde 1., 2. ve 3. ölçüm sonuçlarındaki belirli orandaki artışın 4. ölçüm noktasına gelindiğinde maksimuma ulaştığı daha sonra tekrar azaldığı görülmüştür. Çatlak derinliği tespiti için 1. Profil değerleri kullanılarak çizilen zaman uzaklık grafiğinden (Şekil 66) X , 15 cm, T_1 , 40.2 μ s ve T_2 ise 79 μ s alınarak, bu değerler (45) bağıntısında yerine yazılıp, kırık derinliği olan h değeri 3.29 cm olarak elde edilmiştir. PVC borunun yüzeye yakın olmasından kaynaklı olan kırığın 3. ölçüm noktası olan 4. profil noktası üzerine geldiği ve derinliğini 3.25-3.5 cm arasında olduğu bilinmektedir. Kırık yeri ve kırık derinliği bilinen bu çalışmada sonuçların doğruluğu tespit edilmiştir.

Oluşturulan küp numunelerde yapılan ultrasonik hız ölçüm sonuçları, basınç dayanım testi sonuçları, beton özellikleri ve ultrasonik hız değerlerinden hesaplanan basınç dayanımı sonuçları önceki kısımda gösterilmişti (Tablo 17). Ultrasonik hız değerleri incelendiğinde (Tablo 5), C25/30 beton sınıfındaki numunelerin ortalama V_p değerlerinin dalga hızına bağlı beton kalite sınıflamasına göre (Tablo 5) “iyi” kalitede olduğu ayrıca C30/37 beton sınıfındaki numunelerin ortalama V_p değerlerinin “çok iyi” kalitede olduğu görülmüştür. Ultrasonik yöntemden sonra numunelere uygulanan basınç dayanım testi sonuçları ile V_p hızından (49) bağıntısı kullanılarak elde edilen basınç dayanım değerleri

karşılaştırıldığında değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Buradan da görüldüğü gibi ultrasonik hız değerlerinden tek eksenli basınç dayanımı elde edilebilir.

3.2. Elektrik Özdirenç Yöntemi ile Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Verilere Ait Bulgular ve Tartışma

Model 1 A kesitinin elektrik özdirenç değerleri incelendiğinde (Tablo 18) taban kısımlarında düşük olduğu görülmüştür. 1. ve 2. profil hatlarının 3., 4. ve 5. ölçüm noktasındaki değerlerinin 32 ile 48 k Ω .cm arasında değiştiği ve bu ölçüm noktalarında korozyon risk derecesi (Tablo 7) “orta dereceli korozyon riski” olarak görülmüştür. Kesitin 1. ve 2. profil hatlarının ilk 2 ölçüm noktası ile 3. profil hattının 2., 3., 4. ve 5. ölçüm noktalarında özdirenç değerleri 66 ile 96 k Ω .cm arasındadır. Bu ölçüm noktalarında korozyon risk derecesi (Tablo 7) “düşük korozyon riski” olarak görülmüştür. 4. Profil hatından sonra özdirenç değerlerinde artma meydana gelmiştir. Özdirenç değerleri 5. ve 6. profil hatlarında 250 k Ω .cm seviyelerine daha üstteki profillerde 400 k Ω .cm seviyelerine çıkmıştır. 4. profil hattı ile 21. profil hattı arasında korozyon risk derecesi (Tablo 7) “ihmal edilebilir korozyon riski” olarak görülmüştür. Model 1 A kesiti elektrik özdirenç haritasına (Şekil 70) da bakılacak olursa kesitin üst kısımlarında özdirenç değerlerinin yüksek olduğu alta doğru inildikçe değerlerin azaldığı özellikle düşeyde 15 cm’den aşağıda özdirenç değerlerinin en düşük değerleri aldığı görülmüştür. Burada taban kısımlarında görülen (Şekil 69) ıslaklığın özdirenç değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Model 1 B kesitinin elektrik özdirenç değerleri (Tablo 19) 1. ve 5. profil hatları arasında yani kolonun taban kısımlarında genellikle 59 ile 96 k Ω .cm arasında olduğu ve korozyon risk derecesi (Tablo 7) “düşük korozyon riski” olarak görülmüştür. 6. ve 10. profil hatları arasında özdirenç değerleri 120 ile 232 k Ω .cm arasında, 11. ve 21. profil noktaları arasında ise 208 ile 375 k Ω .cm arasında değişmiştir. 6. ve 21. profil hatları arasında korozyon risk derecesi (Tablo 7) “ihmal edilebilir korozyon riski” olarak görülmüştür. Model 1 B kesiti elektrik özdirenç haritasına (Şekil 71) bakıldığında kesitin üst kısımlarında özdirenç değerlerinin yüksek olduğu alta doğru inildikçe değerlerin azaldığı özellikle 20 cm’den aşağıda özdirenç değerlerinin 100 k Ω .cm’den az olduğu görülmüştür. B kesitinin 1. ve 5. profilleri arasında özdirenç değerlerinin düşük olma sebebinin, B kesitinin karşısında bulunan C kesitinin alt kısımlarındaki ıslaklığın (Şekil 69) B kesitine ulaşarak burada oluşturduğu ıslaklık olduğu tespit edilmiştir.

Model 1 C kesitinin elektrik özdirenç değerlerinin (Tablo 20) 1. ve 4. profil hatları arasında yani kolonun taban kısımlarında genellikle 22 ile 50 k Ω .cm arasında değiştiği korozyon risk derecesi (Tablo 7) “orta dereceli korozyon riski” olarak görülmüştür. 5. ve 6. profil noktaları arasında özdirenç değerleri 76 ile 93 k Ω .cm arasında değiştiği korozyon risk derecesi (Tablo 7) “düşük korozyon riski” olarak görülmüştür. 7. ve 10. profil noktaları arasında özdirenç değerleri genellikle 109 ile 196 k Ω .cm arasında değiştiği, 11. ve 21. profil noktaları arasında özdirenç değerleri genellikle 209 ile 356 k Ω .cm arasında değiştiği bu noktalarda korozyon risk derecesi (Tablo 7) “ihmal edilebilir korozyon riski” olarak görülmüştür. Model 1 C kesiti elektrik özdirenç haritasına (Şekil 72) bakıldığında kesitin düşeyde 60 cm ve üstünde özdirenç değerlerinin 250 ile 350 k Ω .cm arasında olduğu, daha sonra kesitte aşağıya doğru inildikçe özdirenç değerlerinin 150 k Ω .cm seviyelerine düştüğü, 15 cm 'in altında ise 50 k Ω .cm ve aşağısına düştüğü görülmüştür. C kesitinin özellikle ilk 6 profil noktasındaki ıslaklığın (Şekil 69) özdirenç değerlerini düşürdüğü görülmüştür.

Ayrıca Model 1 A, B ve C kesitlerinin korozyon oranına (Tablo 8) bakıldığında “düşük korozyon oranı” görülmüştür.

Elektrik özdirenç ölçümlerinde sıvanın etkisini görmek için kolonun B kesitinin üst kısmında sıva kazınarak yapılan ölçümde özdirenç değeri 210 k Ω .cm olurken hemen yan tarafında sıvalı yerde ise 366 k Ω .cm olarak ölçülmüştür (Şekil 73). Yorumlamalarda sıva etkisinin de göz önünde bulundurularak yorum yapılması gerekmektedir. Yapılan ölçümler göstermiştir ki, A kesitinde 4. profilin 3., 4. ve 5. ölçüm noktalarında göre korozyon risk derecesi de (Tablo 7) “düşük korozyon riski”, B kesitinde 6. profilin de korozyon risk derecesi “düşük korozyon riski”, C kesitinde 7. ve 8. profillerin de korozyon risk derecesi “düşük korozyon riski” olarak yorumlanması daha doğru olacaktır.

Model 2 'de AB kesitinde yapılan ölçümlerde özdirenç değerlerinin (Şekil 75) 5 ve 39 k Ω .cm arasında değiştiği görülmüştür. Çalışma kapsamında oluşturulan yeni bir yapı olduğu düşünülürse ölçülen bu özdirenç değerleri ile yapının korozyon durumunun yorumlanması doğru olmayacaktır. Burada özdirenç değerlerinin düşük olma sebebinin betonun ıslaklığı olduğu düşünülmektedir.

Jeofizik Mühendisliği Bölümü zemin katta onarım yapılmakta olan yerin tavan kısmında yapılan elektrik özdirenç ölçüm sonuçları incelendiğinde (Tablo 21) genel olarak donatıların beton üzerinde korozyon oluşturduğu görülmüştür. Donatılara 2 cm'lik mesafelerde yapılan 2. ve 10. ölçümleri incelendiğinde korozyon risk derecesi (Tablo 7)

“yüksek korozyon riski” olarak görülmüştür. 3 cm mesafede yapılan 5.ölçümde, 4cm mesafede yapılan 8. ölçüm ve 5 cm mesafede yapılan 9. ölçüm incelendiğinde korozyon risk derecesi (Tablo 7) “orta dereceli korozyon riski” olarak görülmüştür. Donatılardan uzaklaştıkça özdirenç değerlerinin arttığı görülmüştür. Sonuçlarda donatılardan kaynaklanan korozyonun yaklaşık 5 cm mesafede etkili olduğu görülmüştür. 20 kΩ.cm ve daha düşük özdirenç değerlerinin ölçüldüğü 2., 5. ve 10. ölçüm noktalarında korozyon oranları incelendiğinde (Tablo 8), 2. ve 10. ölçüm noktalarında “yüksek korozyon oranı”, 5. ölçüm noktasında “düşük ile orta arası korozyon oranı” görülmüştür.

3.3. Yer Radarı Yöntemi ile Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Verilere Ait Bulgular ve Tartışma

Model 1’de 1.kısımda yatay ve düşey yönde 2’şer profil hattının ölçümler sonucu oluşturulan radargramları (Şekil 80) incelendiğinde 5. ve 7. yatay profil radargramlarında 4 adet boyuna donatı görülmüştür. Derinlikleri yaklaşık olarak 4 cm’dir. Bu mesafe aynı zamanda paspayıdır. Donatıların buldukları yerler yatay profil hattı yönünde 2,5 cm, 10 cm, 18 cm ve 28 cm’dedir. 9. ve 11. düşey profil radargramlarında 3.5 cm derinlikte 1 adet etriye (enine donatı) görülmüştür. Bu mesafe de etriyeli kısımlardaki paspayıdır. Bulduğu yer ise düşey profil hattı yönünde 16 cm’dedir. Ayrıca düşey profil hatlarının alt kısmında bulunan etriyenin etkisi de radargramlarda görülmüştür. 3B’lu görünümün z=4.43 deki görüntüsüne (Şekil 81) bakıldığında boyuna donatı ve etriyeler belirgin şekilde görülmüştür ve işaretlenip gösterilmiştir (Şekil 82).

Model 1’de 2.kısımda yatay ve düşey 2’şer profil hattının ölçümler sonucu oluşturulan radargramları (Şekil 83) incelendiğinde 5. ve 7. yatay profil radargramlarında 4 adet boyuna donatı görülmüştür. Derinlikleri yaklaşık olarak 3 cm’dir. Bu mesafe aynı zamanda paspayıdır. Donatıların buldukları yerler ise yatay profil hattı yönünde 3 cm, 9 cm, 21 cm ve 28 cm’dedir. 9. ve 10. düşey profil radargramlarında yaklaşık 2.5 cm derinlikte 3 adet etriye (enine donatı) görülmüştür. Bu mesafe de etriyeli kısımlardaki paspayıdır. Buldukları yerler ise düşey profil hattı yönünde 6 cm, 16 cm ve 26 cm’dedir. 3B’lu görünümün z=3.31 deki görüntüsüne (Şekil 84) bakıldığında boyuna donatı ve etriyeler belirgin şekilde görülmüştür ve işaretlenip gösterilmiştir (Şekil 85).

A kesitinden 2B’lu olarak yapılan düşey ölçüm sonucu elde edilen radargramda (Şekil 87) 14 adet etriye görülmekte olup etriye aralıklarının özellikle düşey doğrultuda

85 cm'den sonra değiştiği grlmuştur. 85 cm'e kadar 9-12 cm arasında değişen etriye aralıkları 85 cm'den sonra 20 cm'e çıktığı grlmuştur. Etriyelerin derinlikleri 2-4 cm arasında değişmektedir. Bu mesafe aynı zamanda etriyelerin paspaylarıdır.

Model 2'de AB kesiti üzerinde boyuna donatı ve etriyelerin belirlenmesi amacıyla yapılan 2B'lu ölçümler sonucunda elde edilen radargramlar (şekil 89) incelendiğinde düşey yönde yapılan 1. ve 2. lmde radargramlarda 4 adet etriye bulunduğu, etriyelerin derinliğinin (paspayı) 4-6 cm arasında olduğu ve etriyelerin profil hattında yaklaşık 9, 26, 41 ve 57 cm'de olduğu grlmuştur. Yatay yönde yapılan 3. ve 4. lmde radargramlarda 4 adet donatı bulunduğu, donatıların derinliğinin (paspayı) 6-7 cm arasında olduğu ve donatıların profil hattında yaklaşık 3, 18, 34 ve 48 cm'de olduğu grlmuştur. Kesit içindeki boyuna donatı ile etriye sayıları ve paspayları (şekil 52, şekil 88) ile sonuçlar karşılaştırıldığında, sonuçların doğruluğu grlmuştur. AB kesitinin 3B'lu görünümün $z=6.66$ cm'deki görüntüsü (şekil 91) incelendiğinde boyuna donatı ve etriyeler belirgin şekilde grlmuştur ve boyuna donatı ve etriyeler işaretlenip gösterilmiştir (şekil 92). 4 adet boyuna donatı ve 4 adet etriye görülmektedir. Kesit içerisindeki boyuna donatı ve etriye sayıları ile yerleri (şekil 90) sonuçlar ile karşılaştırıldığında sonuçların doğruluğu grlmuştur.

Model 2'de boyuna donatı ve etriyelerin belirlenmesi amacıyla BD kesiti üzerinde yapılan 2B'lu ölçümlerin radargramları (şekil 94) incelendiğinde, düşey yönde yapılan 1. lmde radargramda 4 adet etriye bulunduğu, etriyelerin derinliğinin (paspayı) 8-10 cm arasında olduğu ve etriyelerin profil hattında yaklaşık 7, 25, 40 ve 57 cm'de olduğu grlmuştur. Yatay yönde yapılan 2. ve 3. lmde radargramlarda 3 adet donatı bulunduğu, donatıların derinliğinin (paspayı) 11-12 cm arasında olduğu ve donatıların profil hattında yaklaşık 6, 13, 20 cm'de olduğu grlmuştur. Radargramdaki verilerle donatı ile etriyelerin sayıları, kesit üzerindeki yerleri ve derinlikleri (şekil 52 , şekil 93) karşılaştırıldığında sonuçların doğruluğu grlmuştur. 3B'lu görünümün $z=12.46$ cm'deki görüntüsü (şekil 96) incelendiğinde boyuna donatı ve etriyeler belirgin şekilde grlmuştur. Boyuna donatı ve etriyeler işaretlenip gösterilmiştir (şekil 97). 3 adet boyuna donatı ve 2 adet etriye görülmektedir. Kesit içerisindeki boyuna donatı ve etriye sayıları ile yerleri (şekil 95) sonuçlarla karşılaştırıldığında sonuçların doğruluğu grlmuştur.

Model 2'de boyuna donatıların belirlenmesi amacıyla CA kesiti üzerinde yapılan 2B'lu ölçümlerin radargramları (şekil 99) incelendiğinde yatay yönde yapılan 1. ve 2. lmde radargramlarda 3 adet boyuna donatı bulunduğu, donatıların derinliğinin

(paspayı) 2-4 cm arasında olduğu ve donatıların profil hattında yaklaşık 8 , 14, 21 cm'de olduğu görülmüştür. Radargramdaki verilerle donatı ile etriyelerin sayıları, kesit üzerindeki yerleri ve derinlikleri (Şekil 52 , Şekil 98) karşılaştırıldığında sonuçların doğruluğu görülmüştür. 3B'lu görünümün $z=3.53$ cm'deki görüntüsü (Şekil 101) incelenecek olursa boyuna donatı ve etriyeler belirgin şekilde görülmektedir. Boyuna donatı ve etriyeler işaretlenip gösterilmiştir (Şekil 102). 3 adet boyuna donatı ve 2 adet etriye görülmüştür. Kesit içerisindeki boyuna donatı ve etriye sayıları ile yerleri (Şekil 100) sonuçlar ile karşılaştırıldığında sonuçların doğruluğu görülmüştür.

Model 2'de DC kesiti üzerinde donatı, etriye ve paspayı tespiti amacıyla 3B'lu görüntü elde etmek için ölçümler yapılmıştır. 3B'lu görünümün $z=8.0$ cm'deki görüntüsü (Şekil 104) incelenecek olursa donatılardan daha önde bulunan etriyeler görülmüştür. Daha sonra $z=10.23$ cm deki görüntüsü (Şekil 104) incelendiğinde ise boyuna donatılarda görülmüştür. Boyuna donatı ve etriyeler işaretlenip gösterilmiştir (Şekil 105). 4 adet boyuna donatı ve 4 adet etriye görülmüştür. Kesit içerisindeki boyuna donatı ve etriye sayıları ile yerleri (Şekil 103) sonuçlarla karşılaştırıldığında sonuçların doğruluğu görülmüştür.

Model 3'de farklı çaplardaki çelik donatı, PVC boru ve çelik hasırların yerleri ve derinliklerinin belirlenmesi amacıyla 3 farklı kısımda 3B'lu görüntü elde edebilmek için ölçümler yapılmıştır. 1. ölçümde profillerin 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı malzemeleri kapsadığı görülmektedir (Şekil 106). 3B görünümün $z=5.54$ cm'deki görüntüsü (Şekil 108) incelendiğinde 4 numaralı malzeme (75 mm PVC boru) ve 2 numaralı malzeme (12 mm çelik donatı) görülmüştür. $Z=12.79$ cm'deki görüntüsüne bakılırsa 6 numaralı malzeme (20 mm çelik donatı) görülmüştür. Ayrıca 4 numaralı PVC borunun etkisi de görülmüştür. $z=19.48$ cm'deki görüntüsüne bakılırsa 1 numaralı malzeme (75 mm PVC boru), 3 numaralı malzeme (50 mm PVC boru) ve 5 numaralı malzeme (16 mm çelik donatı) görülmüştür. 3B'lu görüntülerin farklı derinliklerdeki kesitleri incelenerek tespit edilen malzemeler (Şekil 109) ile kesit içerisindeki malzemelerin yerleri ve derinlikleri (Şekil 106) karşılaştırıldığında sonuçların doğruluğu görülmektedir.

Model 3'te 2. ölçümde profillerin 5, 6, 7 ve 8 numaralı malzemeler ile 4 numaralı malzemenin 2.5 cm'lik kısmını kapsadığı görülmektedir (Şekil 106). 3B görünümün $z=4.43$ cm'deki görüntüsü (Şekil 111) incelenecek olursa 7 numaralı malzeme (çelik hasır) ve 2.5 cm'lik kısmı kesitte bulunan 4 numaralı malzeme (PVC boru) görülmüştür. Kesit içerisinde bulunan çelik hasırın (Şekil 56) $z=4.43$ cm'deki görüntüsünde BD kesitine

göre yatayda 2 sıra, düşeyde 4 sıra donatısı görülmüştür. $Z=13.36$ cm'deki görüntü (Şekil 111) incelenecek olursa 6 numaralı malzeme (20 mm çelik donatı) görülmüştür. Ayrıca 4 numaralı malzemenin (75 mm PVC boru) 2,5 cm'lik kısmının 13.36 cm derinlikteki etkisi görülmüştür. $Z=17.82$ cm'deki görüntü (Şekil 111) incelenecek olursa 8 numaralı malzeme (çelik hasır) 2.kat hasır görülmüştür. $Z=19.61$ cm'deki görüntü (Şekil 111) incelenirse 5 numaralı malzeme (16 mm çelik donatı) görülmüştür. Ayrıca 8 numaralı malzemenin (çelik hasır) etkisinin devam ettiği görülmüştür. 3B'lu görüntülerin farklı derinliklerdeki kesitleri incelenerek tespit edilen malzemeler (Şekil 112) ile kesit içerisindeki malzemelerin yerleri ve derinlikleri (Şekil 106) karşılaştırıldığında sonuçların doğruluğu görülmektedir.

Model 3'te 3. ölçümde profillerin 7 ve 8 numaralı malzemeleri kapsadığı görülmektedir (Şekil 106). 3B görünümün $z=4.43$ cm'deki görüntüsünde (Şekil 115) 7 numaralı, $z=17.82$ cm'deki görüntüsünde (Şekil 115) 8 numaralı malzemeler olan çelik hasırlar görülmüştür. Çelik hasırlar işaretlenmiştir (Şekil 116). Çelik hasırın hattın içinde kalan kısımlarına (Şekil 114) bakılıp 3B'lu görüntülerin farklı derinliklerdeki kesitleri ile karşılaştırıldığında sonuçların doğruluğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında ultrasonik, elektrik özdirenç ve yer radarı yöntemleri ile elde edilen sonuçlar, jeofizik yöntemlerin yapı denetim sektöründe hızlı ve başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

Ultrasonik yöntem hem mevcut bir yapıdaki kolonda, hem de tez kapsamında oluşturulan iki betonarme yapıda uygulanmıştır. Bunların dışında da tez kapsamında oluşturulan küp beton numunelerinde uygulanmıştır. Mevcut bir kolonda, tez kapsamında oluşturulan düşey betonarme yapıda ve yine çalışma kapsamında oluşturulan küp beton numunelerinde beton kalitesi araştırılmıştır. Yatay betonarme yapı da kırık olduğu gözlemlenen kısımda ultrasonik yöntem ile sinyal geliş zamanından kırık yeri ve derinliği hesaplanmıştır. Yeri ve derinliği bilinen kırığın ultrasonik yöntemle de tespit edildiği görülmüştür. Ayrıca çalışma kapsamında oluşturulan küp numuneler üzerinde V_p değerlerinden basınç dayanımı hesaplanmış, daha sonra tek eksenli basınç testi ile basınç dayanımı ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki V_p değerlerinden basınç dayanımı tespit edilebilmektedir. Ultrasonik yöntemde V_p hızı ile birlikte V_s hızının da bulunmasının hesap ve yorumlamalarda daha net sonuçlar verdiği bilinmektedir. Ayrıca V_p ve V_s değerleri ile betonun elastik parametreleri belirlenip daha kapsamlı yorumlama yapılabilir. Ancak çalışmada kullanılan ultrasonik cihaz ile V_s hızı ölçümü yapılamamaktadır. Bu yüzden hesap ve yorumlamalarda sadece V_p hızı kullanılmıştır. Ultrasonik alet ile Model 1'de kolunun ıslaklık gözlemlenen kısımlarında ölçüm alınamamıştır. V_p hızının sıvı ortamda yayılabilmesine rağmen burada ölçüm alınamama sebebinin 42 cm olan ölçüm mesafesinde aletin yeterli sinyali karşı alıcıya ulaştırılamaması sonucuna varılmıştır. Aynı şekilde ıslaklık olduğu gözlemlenen 30 cm ölçüm mesafesinde Model 2'de ölçüm yapılabilmektedir.

Korozyon tespiti amacıyla elektrik özdirenç yöntemi mevcut bir yapıdaki kolonda, tez kapsamında oluşturulan düşey betonarme yapıda ve mevcut yapının tavan kısmında ölçümler yapılmıştır. Model 1'de kolonunun taban kısımlarında özdirenç değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Özellikle su içeriğinin arttığı bölgeler olan taban kısımlarında korozyon risk seviyesinin yükseldiği tespit edilmiştir. Çalışmada sıvanın etkisini görmek için sıvalı ve sıvasız kısımda ölçüm yapılarak sıvanın ölçülen değerlerdeki etkisi görülmüştür. Yorumlamalarda bu etkininde göz önünde bulundurulması gerektiği

sonucuna varılmıştır. Model 2’de yapılan ölçümlerde özdirenç değerlerinin 4-39 k Ω .cm arasında değiştiği görülmüştür. Betonun yeni beton olması nedeniyle korozyon oluşmadığı düşünülerek korozyon durumu için yorum yapılmamıştır. Değerlerin düşük olmasında betonun ıslaklığının etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Mevcut eski bir yapının tavan kısmında yapılan özdirenç ölçümlerinde korozyon gözlemlenen donatılara yakın kısımlarda özellikle de 5 cm’e kadar olan yakın mesafelerde özdirenç değerlerinin düştüğü korozyon riskinin ve korozyon oranının yükseldiği görülmüştür. Donatılardan uzaklaştıkça özdirenç değerlerin yükseldiği görülmüştür. Bu kısımda yapılan ölçümlerle donatıların beton üzerinde 5 cm mesafede korozyon oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Yer radarı yöntemi hem mevcut bir yapıda, hem de tez kapsamında oluşturulan iki betonarme yapıda uygulanmıştır. Yöntemin uygulanması ile elde edilen radargramlardan boyuna donatılar, etriyeler ve paspayları tespit edilmiştir. Özellikle tez kapsamında oluşturulan iki betonarme yapıdaki sonuçlar incelendiğinde boyuna donatılar, etriyeler ve paspaylarının tespitinin mm hassasiyetinde doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Yatay ve düşey profil hatlarındaki ölçümler ile ortaya çıkan 3B’lu görüntülerin incelenmesiyle Model 1 ve Model 2’de boyuna donatı ile etriyelerin yerleri ve sayıları, Model 3’de ise kullanılan malzemelerin yerleri net bir şekilde tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan 2,7 GHz antenli yer radarı aleti ile 30 cm’de görüntü edilebilmesi hedeflenmiştir. Ancak Model 2 ve Model 3’de 20 cm’den daha derindeki kısımlarda radargramlarda tespitler zorlaşmıştır. Bunun betonun 45 günlük yeni bir beton olması sebebiyle kaynaklandığı düşünülmektedir. Yer radarı aleti ile ölçü alınımından sonra elde edilen verilerin bilgisayar ortamına taşınıp yazılım üzerinde incelenmesi son derece kolaydır. Yazılım time zero correction (sıfır kayma zamanı düzeltmesi), filtering (filtreleme) ve focus (migration-göç) yapıp açılmaktadır. Bunun dışında yazılım üzerinde veride dielektrik sabiti (aynı zamanda hız) ve gain (kazanç) değerleri değiştirilerek gerek radargramdaki gerekse 3B’lu görüntüdeki netlikler arttırılabilir.

Çalışma kapsamında uygulanan yer radarı yöntemi ile boyuna donatı, etriye ve paspayı tespitlerinin yapılabileceği, ultrasonik yöntem ile beton kalitesi, basınç dayanımı ve kırık-çatlak tespitlerinin yapılabileceği, elektrik yöntem ile korozyon durum tespitinin yapılabileceği sonuçlarına varılmıştır.

5. KAYNAKLAR

- Annan A.P., 1992. Uses and Techniques of Ground Penetrating Radar in Near-Surface, Geophysics, SEG.
- Annan, A.P., 2000. Ground Penetrating Radar Workshop Notes, Sensors and Software Inc., Canada.
- Annan, A.P., 2001. Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Mississauga, Ontario Sensors and Software Inc.
- Annan, A.P., Davis, J.L. ve Gendzwill, D., 1988. Radar Sounding in Potash Mines, Geophysics, 53, 1556-1564.
- Başokur, A.T., 1984. Düşey Elektrik Sondajı, TPAO.
- Başokur, A.T., 1994. Definitions of Apparent Resistivity for The Presentation of Magnetotelluric sounding data, Geophysical Prospecting, 42(2):141-150.
- Bhattacharya, P.K., ve Patra, H.P. 1968. Direct Current Geoelectric Sounding, Elsevier Publishing Company (Amsterdam-London-New York).
- Candansayar M.E., 2012. Yapı Jeofiziği, TMMOB JFMO Jeofizik Bülteni, 6 S.
- Candansayar, M.E., 2015. Yapı Jeofiziğinde Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler, Jeofizik Mühendisliğinde Hasarsız Yapı İnceleme Çalıştayı, 96-103.
- Candansayar M.E. ve Demirel C., 2015. Boru Hatları ve Korozyon Etütlerinde Jeofizik Çalışmalar, Prof. Dr. Ali Keçeli Jeofizik-Jeoteknik Çalıştayı Bildiriler Kitabı, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası yayını.
- Cheesman, W.J., 1949. Dynamic Testing of Concrete With The Soniscope Apparatus, Proc. Highway Res. Board, 29, 176.
- Cheilakou, E., Theodorakeas, P., Kouli, M., Moustakidis, S. ve Zeris, C., 2013. Determination of Reinforcement and Tendon Ducts Positions on Pre-Stressed Concrete Bridges by Means of Ground Penetrating Radar (GPR), 5th International Conference on NDT of HSNT- IC MINDT.
- Conyers, L.B. ve Goodman, D., 1997. Ground-Penetrating Radar: An Introduction for Archaeologists, California, Altamira Press.
- Davis, J.L. ve Annan, A.P., 1986. High Resolution Sounding Using Ground Penetrating Radar, Geoscience, 13, 3, 205-208.

- Davis, J.L. ve Annan, A.P. 1989. Ground-Penetrating Radar for High Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy, Geophysical Prospecting, 37, 531-551.
- Dikmen, Ü., 2015. Tahribatsız Yapı İncelemesinde Doğal Titreşim Yöntemi, Jeofizik Mühendisliğinde Hasarsız Yapı İnceleme Çalıştayı, 46-60.
- Fisher, C.S., Stewart, R.R. ve Jol, H.M., 1994. Processing Ground Penetrating Radar Data, Proceedings of the 5th International Conference on Ground Penetrating Radar Canada, 661-675.
- Gerlitz, K., Knoll, M.D., Cross, G.M., Luzitano, R.D. ve Knight, R., 1993. Processing Ground Penetrating Radar Data to Improve Resolution of Near-Surface Targets.
- Griffin, S. ve Pipet, T., 2002. Ground Penetrating Radar, Geophysical and Remote Sensing Methods for Regolith Exploration, 144, 80-89.
- GSSI, RADAN7 for StructureScan Mini Manual, 2015.
- GSSI, StructureScan Mini XT Manual, 2016.
- GSSI, StructureScan Mini XT Quick Start Guide.
- GSSI, Complete GPR Systems for Concrete Inspection StructureScan Mini XT, 2016.
- Hannachi, S. ve Guetteche, M.N., 2012. Application of the Combined Method for Evaluating the Compressive Strength of Concrete on Site, Open Journal of Civil Engineering, 16-21.
- Holloway, A.L. ve Mugford, J.C., 1990. Fracture Characterization in Granite Using Ground Probing Radar. CIM Bulletin, 61-70.
- Hornibrook, F.B., 1939. Application of Sonic Method to Freezing and Thawing Studies of Concrete, ASTM Bull., 101, 5.
- Jones, R., 1948. The Application of Ultrasonic to the Testing of Concrete, Research, London, 383 S.
- Kadioğlu S. ve Demirci B.B., 2012. Yapı Denetim Sektöründe Yer Radarı Yöntemi, TMMOB JFMO Jeofizik Bülteni, 31-40.
- Kadioğlu Y.K. ve Kadioğlu S., 2004. Determination of Fractures and Cavities and Mapping of Depth Slices in a marble Area by Ground Penetrating Radar method, The 16 th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey December 7-10 2004, 359-362 Ankara-Turkey.
- Kaplanvural, İ. ve Pekşen, E., 2015. Yer Radarı Yöntemi ile Yapıların Boru Tesisatının İç ve Dış Malzemesinin Belirlenmesi, Jeofizik Mühendisliğinde Hasarsız Yapı İnceleme Çalıştayı, 88-91.

- Keçeli, A., 2012, Uygulamalı Jeofizik, JFMO Eğitim Yayınları No:18, 514-515.
- Knödel, E., Krummel, M. ve Lanke, J., 1997. Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten/BGR, Bd.3 Geophysik Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Lakshmi, K.A., Sangoju B., Kumar V., Rahamath A., 2016. Estimation of Rebarradius Using Ground Penetrating Radar, International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics (IJETCSE)_ISSN: 0976-1353 Volume 22 Issue 2, 320-325.
- Last, W.M. ve Smol, P., 2001. Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Chemical Techniques, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Leslie, J.R. ve Cheesman, W.J., 1949. An Ultrasonic Method of Studying Deterioration and Cracking in Concrete Structures, ACI J. Proc., 46(1), 17.
- Malhotra, V.M., 1976. Testing Hardened Concrete: Nondestructive Methods, ACI Monograph 9, American Concrete Institute, Detroit, MI.
- Mix, P.E., 2005. Introduction to Nondestructive Testing, a Training Guide, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Moorman, B.J., 2001. Ground-Penetrating Radar Applications in Paleolimnology. Physical and Chemical Techniques, 23-47. Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Obert, L., 1939. Sonic Method of Determining The Modulus of Elasticity of Building Materials Under Pressure, Proc. ASTM, 39, 987.
- Öğretmen, Z., 2002. Bayburt Kıratlı Traverten Sahasında Jeofizik Yöntemlerle Kırık-Çatlak Sistemlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özçep, F., Karabulut, S., Özgüven B. ve Sanlı, O., 2012. Tahribatsız Test Yöntemleri ve Ultrasonik Hız Ölçümleri. TMMOB JFMO Jeofizik Bülteni, 11-24.
- Özürlan G. ve Ulugergerli. E.U., 2005. Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Pekşen, E. ve Kaplanvural, İ., 2015, Yer Radarı Çalışmaları ile Yapı Elemanlarının Görüntülenmesi, Jeofizik Mühendisliğinde Hasarsız Yapı İnceleme Çalıştayı, 70-82.
- Powers, T.C., 1938. Measuring Young's modulus of Elasticity by Means of Sonic Vibrations, Proc. ASTM, 38 (Part II), 460 S.
- Proceq Resipod Family, 2013. Operating Instructions Concrete Durability Testing.

- Rust, Jr W. M., 1938. A Historical Review Of Electrical Prospecting Methods, Geophysics,3, No:1, 1-6.
- Takahaski, T., 2004. Suggested Methods for Land Geophysics in Rock Engineering, Rock Mechanics and Mining Science, 41, 885-914.
- Tarun R. Naik, T.R., Malhotra, V.M. ve Popovics, J.S., 2004. The Ultrasonic Pulse Velocity Method, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, Crc Press.
- Thomson, W.T., 1940. Measuring Changes in Physical Properties of Concrete by The Dynamic Method, Proc. ASTM, 40, 1113.
- Uyanık O., 2012. Sismik Hızlardan Beton Dayanımının Belirlenmesi, TMMOB JFMO Jeofizik Bülteni, 25-30.
- Uyanık, O. ve Çatlıoğlu, B., 2010. Determination of Density From Seismic Velocities, The 19th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey 23 – 26 November Ankara / Turkey.
- Uyanık O., Kaptan, K., Gülay, F.G. ve Tezcan, S. 2011. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini, Yapı Dünyası 184, 55-58.
- Uyanık, O., Çatlıoğlu B., Uyanık N.A., Öncü Z. ve Sabbağ N., 2012. Kentsel Dönüşüm Projelerinde Betonarme Yapıların Beton Kalitesinin Sismik Ultrasonik Hızlardan Belirlenmesi, SDÜ 1. Yerbilimleri Sempozyumu, 147-151.
- Uyanık, O., Gülay, F.G. ve Tezcan, S., 2012. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini, Hazır Beton CV 436f, 82-85.
- Uyanık, O., Gülce, Ş. ve Çatlıoğlu, B., 2012. Binaların Beton Kalitesinin Tahribatsız Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi, International Construction Congress, ICON2012-SDÜ.
- Uyanık, O., Şenli, G. ve Çatlıoğlu, B., 2013. Binaların Beton Kalitesinin Tahribatsız Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi, SDÜ Uluslararası Teknoloji Bilimler Dergisi 5(2):156-165.
- Van Nostrand, R.G. ve Cook, K.L., 1966. Interpretation of Resistivity Data: USGS Prof. Paper 449, Washington, D.C., U.S. Govt. Printing Office.
- Von Hippel, A. R., 1954. Dielectric Materials and Applications, NY: John Wiley and Sons.
- Whitehurst, E.A., 1957. Soniscope Tests Concrete Structures, ACI J. Proc., 47(6), 433.
- Wilchek, L., 2000. Ground Penetrating Radar for Detection of Rock Structure, M.S. Thesis, Alberta University, Canada.
- URL-1, https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistivity_measurement_of_concrete#Standards Betonun Elektrik Özdirenç Ölçümü. 08 Ekim 2016.

ÖZGEÇMİŞ

4 Nisan 1988 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğretimini Trabzon Yavuz Selim İlköğretim Okulu'nda, liseyi Trabzon Fatih Lisesi'nde bitirdi. 2007 yılında Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne başladı. 1 yıl İngilizce dil eğitimi, 4 yıl Jeofizik Mühendisliği eğitimi alarak 2012 yılında mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında Başfen İnşaat Trabzon Maçka Yol Tüneli'nde vardiya mühendisi, 2015 yılında Polin Enerji Ordu Kabataş HES inşaatında saha ve teknik ofis mühendisi olarak çalıştı. İyi derecede MATLAB programlama dili bilmektedir. İyi derecede AutoCAD yazılımı kullanabilmektedir. Yabancı dil olarak iyi derecede İngilizce bilmektedir.